

[Description of DE4308697](#)[Print](#)[Copy](#)[Contact Us](#)[Close](#)

Result Page

Notice: This translation is produced by an automated process; it is intended only to make the technical content of the original document sufficiently clear in the target language. This service is not a replacement for professional translation services. The esp@cenet® Terms and Conditions of use are also applicable to the use of the translation tool and the results derived therefrom.

The invention relates to a method for enriching a first gaseous or liquid medium with a second gas desert a liquid in a reactor, whereby the first gaseous or liquid medium flows along a flow axle of the reactor or flows or is in the batch process presented. Beyond that the invention covers reactors to the carrying out the process, like also the application of the reactors for the separation from gases and liquids.

From the US-PS 4,959,152 a separation of gases or liquids is known, with which a gas component of a first gaseous or liquid medium because of the microporous structure of the fiber walls of the capillary hollow fibers due to gradients, by capillary hollow fibers, for example in the concentration and in the pressure, which occurs capillary hollow fibers and can from these be led out. After the teaching given in the state of the art this technology can only to the separation of liquids and/or. Gases used become.

The loaded of a gaseous or a liquid medium with a second gas, thus that brought together various fabrics with the object of a material combination, represents one of the most important method steps within the chemical-biotechnological and their cognate industries. Various fabrics become for example conducted, around a reaction between various starting materials to obtained, brought a such together so that a product with high order becomes generated. Pure physical absorption processes can act, in order to solve for example a liquid with a certain gas component to loaded or however the gas flow an adherent solid in a liquid with such processes around (gas laundry).

The exchange of material generally a reactor becomes used, the corresponding desired reaction speeds, the physical solubilities, the material properties, which becomes required pressures and required temperatures designed. The center of gravity of the design and dimensioning lies to arrange the contact as wide as possible between the involved components within the reactor. In order to reach this, one generally the subsequent paths goes:

- 1) One of the present phases, for example the gas phase with gas/liquid reactions, becomes as fine-disperse ones as possible by many nozzles into the reactor introduced filled with

liquid.

- 2) The liquid becomes against-guided as very much thin film or drops of a gas component.
- 3) Eine der Phasen wird mit Hilfe von Einstoff- oder Mehrstoffdüsen mit sehr hoher Geschwindigkeit in den Reaktor eingetragen. Aufgrund eines selbständigen oder gezielt beeinflussten Strahlzerfalls wird diese Phase fein dispergiert.

The execution of the methods usually a tubular reactor becomes used, by which the gaseous or liquid medium which can be loaded flows through. The second gas and/or. the second liquid, which and/or. which is to become combined with the gaseous or liquid medium, can in the direct current or in the counterflow into the tubular reactor guided will, in order to obtain a higher concentration difference between the various phases.

Eine weitere Möglichkeit zur Verbesserung der Mischung besteht darin, das gasförmige oder flüssige Medium mit dem zweiten Gas oder der zweiten Flüssigkeit in einem Rührkessel zusammenzuführen, in dem eine hohe Turbulenz erzeugt wird, um die Phasengrenze ständig zu erneuern und somit den Stoffaustausch zu intensivieren.

Adverse one with these methods is the usually required high energy expenditure for material combination. In addition such agitating boilers contain mechanical movable installations, which require an high investment and maintenance costs.

The avoidance of these disadvantages very frequent bubble columns in the most diverse embodiments become used with gas/liquid reactions in the applied technology. A general container with Flüssigkei is flowed through. This liquid the gas phase becomes usually supplied over rigid or elastic nozzle systems. This means that as aeration-flat essentially only the container cross section at the reactor soil is available. In order to achieve a large phase boundary surface and an effective mixing, decomposed therefore the gas flow in as fine a gas bubbles as possible becomes by corresponding nozzle systems, whereby an high Ante of the gas phase with maximum exchange of material-flat becomes achieved within the reactor. As aeration bodies become for example perforated plates, porous ceramics or perforated elastomers in the most diverse embodiments used.

Adverse one with these gas supply systems is that her only in continuous operated reactors used to become to be able, since turning the gas flow off could have an occurring of the liquid the aeration body to the sequence.

An other disadvantage with reactors to the state of the art results due to the fact that the blister-large at first produced by the aeration body within the reactor strong Blasenkoaleszenzen is subjected, whereby a equilibrium-blister-large adjusts itself, so that the efficiency cannot be improved by a reduction of the pores of an aeration body arbitrary. A higher conversion can be made here only by corresponding reactor dimensioning, for example via choice of a larger base.

Object of the invention is it now to create a method and an apparatus for enriching a first gaseous or liquid medium in a second gas or a second liquid with which a substantial larger surface is available for the exchange of material, when it is possible with systems to the state of the art, for example with aeration bodies.

The object directed on the method that initially mentioned type becomes dissolved by the fact that the second gas or the liquid becomes by essentially vertical capillary hollow fibers exhibiting to the flow axle disposed and walls with a microporous structure by the first gaseous or liquid medium guided, whereby the second gas or the second Flüssigke can occur due to gradients physical or chemical parameters, in particular pressure, temperature and/or concentration differences, because of the microporous structure of the fiber walls the first gaseous or liquid medium.

The invention is however not on capillary hollow fibers limited, instead of capillary hollow fibers can also tubes and/or elastic hoses of small diameter taken become, which are by machine perforated and which take over function of the capillary hollow fibers. Such tubes or hoses are the capillary hollow fibers equivalent. If they are more other down in the description and/or in the claims mentioned, tubes or elastic hoses of the before-described type are always along-meant.

The capillary hollow fibers with the second gas or the second liquid applied and this or this become according to invention step over the surface of the fiber walls by the pores of the fiber walls with the first gaseous or liquid medium in contact. The capillary hollow fibers become essentially vertical the flow direction disposed, so that molecules of the first gaseous or liquid medium of the capillary hollow fibers in their movement become inhibited. By the corresponding prolonged residence time of the first gaseous or liquid medium at the capillary hollow fibers the interaction is intensified. Turbulence-similar fluid movements at the fiber due to the flowing against first gaseous or liquid medium, which, develop for width mixes the bubbles or Tro of the second gas or the second liquid effective with first gaseous or liquid medium (Bubble POINTs of the used capillary hollow fibers exceed). A vertical capillary hollow fiber located for flow direction can become in principle at both ends with a second gas or a second liquid applied can, since a preferred incident-flow direction for the second gas or the second liquid is not given.

Depending upon pressure on the fiber wall of the capillary hollow fiber the second gas or the second liquid or the desired gas component or liquid component occurs gas-selective hollow fibers with use nonporously or in form very small gas bubbles that the fiber surrounding gaseous or liquid medium. Already with low pressure bubbles at the surface of the capillary hollow fibers will form, which can be cut by the flowing against first gaseous or liquid medium, whereby a particularly good mixture results. A part of the energy to the transfer of the second gas or the second liquid in the first gaseous or liquid medium becomes thus the momentum removed. With this type of the mixture it is to be expected therefore from

energetic considerations that the gradients required for occurring the second gas or the second liquid in the first gaseous or liquid medium are smaller substantial, than it is in the reverse case, like with the US-PS 4,959,152, to the separation of fabrics necessary, because here substantial other mechanism comes to the application. That differentiates the unification according to invention from fabrics of that the outer state of the art known Stofftrennung in principle.

Useful capillary hollow fibers are known from the state of the art. For example the US-PS describes 4,970,034 the production of isotropic microporous polysulfones with the help of a wet spin technology. A fusion spin technology to the production from capillary hollow fibers is for example in the US-PS 4,956,237 described. Instead of the capillary hollow fibers mentioned can also, how mentioned already above, tubes and elastic hoses used become, which exhibit a small diameter and by machine perforated are.

The invention process is above all favourable because the phase boundaries between second gas and/or the two liquid and the first gaseous or liquid medium not by the properties, like z. B. the surface tension conditional are, but by the embodiment of the capillary hollow fibers. From that usually a very favourable volume/surface relationship, which is not more attainable b a method to the state of the art, results to small diameters of capillary hollow fibers. Thus the interaction between the second gas or the second liquid with the first gaseous will know or liquid medium intensified and large amounts of the second liquid or the second gas light in the first gaseous or liquid medium mixed to become.

An other advantage is that, given by the fact, like described above, a part of the energy can become the transfer of the second liquid or the second gas, from the momentum of the first gaseous or liquid medium removed, so that necessary to the transfer only small pressure, temperature and/or concentration differences are.

In accordance with a favourable development of the method become the second gas or the second liquid in various directions and planes and along the flow axle of the reactor by first gasför or liquid medium passed.

The various directions relate itself both on various directions vertical to the flow axle, and whereupon that/the second gas or second liquid of a plane in another plane other capillary hollow fibers supplied, outgoing from the capillary hollow fibers, will, in order to make the same second gas or the second liquid possible an other interaction with the gaseous or liquid medium.

The conduit second gas or the second liquid in various directions of the vertical to the flow axle has the advantage opposite a guide of the gas in only a direction that all direction components of the turbulence-similar fluid movement generated by flowing against the first gaseous or liquid medium become utilized, in order to change-work with an other capillary

hollow fiber. That leads to an intensification of the mixture.

If the second gas or the second liquid, that and/or from a capillary hollow fiber, again by one other capillary hollow fiber leaks out into the reactor recycled, the probability of reciprocal effect for the second gas or the second liquid with the first gaseous or liquid medium is likewise improved. In addition, it becomes the portion second of the gas or the second liquid, which leaves the reactor again, reduced. The latter has the advantage before all things that the effort the return of the portion of the second gas or the second liquid, which or which with the gaseous or liquid medium mixed is, becomes smaller. This is from particular advantage, if the second gas or the second liquid toxic is and must special protection devices be met.

With other preferred developments the second gas or the second liquid becomes desert opposite the first gaseous liquid medium in the direct current or counterflow by the reactor guided.

Becomes the second gas or the second liquid, which and/or which stands in a first plane vertical to the flow axle with the gaseous or liquid medium in compound, after exit from this plane of a subsequent plane again supplied. With such embodiment the second gas or the second liquid relative to the first gaseous or liquid medium flows in the counterflow or in the direct current. The direct current enterprise has the advantage that pressure gradients between the first gaseous or liquid medium and the second gas or the second liquid change for few over the whole reactor-prolonged, while the counter current against the current the concentration gradients remain opposite the reactor-prolonged essentially same. Depending upon the mixture determining parameters can be met in accordance with this embodiment the optimum choice.

With another preferred process the second gas or the second liquid in the capillary hollow fibers with infinitesimal flow rate lines up. This type of the method is particularly then favourable, - if of the second gas or the second liquid only little in the first gaseous or liquid medium received will is. Then one can let there second gas or the second liquid in bottom pressure into the capillary hollow fibers. A current does not become then used, which before all things the effort for an uniform inlet and the disposal of effluent gas reduced.

In accordance with another preferredwise development of the above methods the pressure of the second gas or the second liquid becomes below blister developing pressure the held.

This is possible because, thereby, like other described above, only a part of the energy must become the mixture from the second gas or the second liquid removed, since the method can become so guided that the second gas or the second liquid can become secured out-sucked by the first gaseous or liquid medium or.

The object further directed on the apparatus to the carrying out the process becomes dissolved by the fact that summarized with a reactor with an in and outlets for the first gaseous or liquid medium and the second gas or the second liquid exhibiting housings the capillary hollow fibers are in Membranelementen.

One could arrange the single capillary hollow fibers direct in the reactor, however this adverse, there the capillary hollow fibers with change of the process, would be purification or maintenance in the reactor poor remote to become to be able. The arrangement of capillary hollow fibers in Membranelementen possible it to take as well as use for another application different again these single out of the reactor.

In favourable development of the reactor the Membranelemente exhibit at least a plane formed of capillary hollow fibers, whereby the capillary hollow fibers approximate parallel to each other run and the Membranelement vertical to this plane is flow throughable.

Due to this embodiment the Membranelemente in the flow direction of the first gaseous or liquid medium lie one behind the other. That a possible light equipment of the reactor. In particular thereby possible becomes also in advantageous manner that different Membranelemente in various planes become disposed, whereby also the mixture ability can become different applications optimized.

In accordance with other favourable development the Membranelement exhibits several successively planes disposed formed from capillary hollow fibers and.

The introduction several planes within a Membranelement increased the other size of the surface for an interaction of the second gas or the second liquid with the first gaseous or liquid medium, by the capillary hollow fibers substantial dense disposed to become to be able, when it would be possible by rear each other layering of several Membranelemente. Too if few fibers are disposed, for example in a Membranelement, as only a plane is present, the efficiency for the loaded of the first gaseous sinks or liquid medium with the second gas or the second liquid, against it many planes disposed are, develop turbulence-like fluid movements, which oppose a Widerstand to flowing on the first gaseous or liquid medium. Investigations have shown the fact that Membranelemente in several planes disposed capillary hollow fibers for example to also unite the second gas or the second liquid with the first Mediums particularly effective is, if to five planes per flow direction of the second gas or the second Flüssigkeit within a Membranelement provided are.

In accordance with a preferredwise development of the invention the respective planes in the Membranelement become to each other rotated disposed. Due to this measure all direction components of the turbulence-similar fluid movement generated by flowing against the gaseous or liquid medium at a plane can become utilized.

Thus a particularly good mixture of the replaced bubbles with the gaseous or liquid medium, generated by a capillary hollow fiber the flowing against molecules of the gaseous or liquid medium, develops. In order to be able to use if possible all directions of the turbulences, then almost all directions in various planes should become considered.

Opposite such an embodiment with many different directions a preferred development of the invention plans to each other in each case to arrange various planes in the Membranelement around 90 DEG rotated.

With a such arrangement practical all directions become already detected, since the current represents determining physical parameter at each space point in the reactor a vector, which can be divided in two resultant components in the planes with capillary hollow fibers.

A particularly favourable development plans that in the Membranelement the capillary hollow fibers verwoben plane with the disposed capillary hollow fibers of the adjacent planes vertical in addition after type of chain and weft are.

This is particularly favourable to increase over the stability and to keep the load of the single Membranelemente small with Membranelementen with capillary hollow fibers can a problem occur, because the single capillary hollow fibers in a plane, for example due to thermal expansion, no longer defined because of a location to be or even by the current of the first gaseous or liquid medium in movement and/or. Vibration offset becomes this represents first of all a mechanical load of the capillary hollow fiber, secondly takes up the movement or vibration also Ener. Both are adverse prerequisites for the operation of a reactor.

Therefore it is convenient to fasten the capillary hollow fibers. To the solution of a similar problem z sees. B. the US-PS of 4,959,152 adhesives or separate nylon threads forwards. In accordance with the development of the Erfin however vertical disposed capillary hollow fibers in form of a fabric become, like it from the woven technology with chain and weft known to each other are, with one another connected the improvement of the fixture. A such fixture is substantial more favourable, than those to the state of the art known, since it holds also with high temperatures and one does also without additional fabrics in adhesives or auxiliary threads in the ranges of the gaseous or liquid medium, which can be both for the flow guidance and adverse for the purity of the starting materials.

In accordance with a preferred development of the invention the capillary hollow fibers of a plane are against each other offset opposite the capillary hollow fibers of another plane longitudinal in same direction.

That has the advantage that all parts of the flowing through first gaseous or liquid medium with capillary hollow fibers can come into interaction. In addition, a such result could become partial by the fact achieved that the capillary hollow fibers of a plane become sufficient close together placed, whereby however for the first gaseous or liquid medium a

larger resistance develops, as if in each plane gaps between the capillary hollow fibers are left, which become closed by an offset arrangement in another plane. A such resistance would be adverse, because it leads first of all to an energy loss and secondly also to a higher pressure drop across the reactor-prolonged, which is again adverse for uniform merging over the length of the reactor. This disadvantage becomes planar eliminated by the offset arrangement in various planes.

In accordance with a special development of the invention the Membranelement is as polygonal or round frames and in particular as rectangular frames formed, between whose opposite sides the capillary hollow fibers extend in each case.

In particular with an embodiment with rectangular frames it is favourable that such Membranelemente can be manufactured due to the rectangular shape with little blend. An other advantage consists of the fact that vertical can extend to the capillary hollow fibers of a plane also different capillary hollow fibers extending in a direction for example in another plane. The advantages of such an arrangement became managing already described. The frame in accordance with the development a permitted very simple formation of such Membranelemente.

In accordance with a preferredwise development of the invention the Membranelement is as square frames formed, whereby the capillary hollow fibers seized in the frame are same in each case prolonged.

The equal length of the capillary hollow fibers is convenient, around as uniform a flowing of the second liquid as possible z reaches. Commodity a capillary hollow fiber substantial more prolonged as another, then would become by the different pressure drops due to the length a flowmoderate balance by the fact achieved that the second gas or the second liquid flows essentially only by the shorter capillary hollow fibers and the longer do not become or only few with the second gas or the second liquid applied. Unequal lengths would oppose an uniform loading of the gaseous or liquid medium with the second gas or the second liquid.

In accordance with a prefered development the capillary hollow fibers flow to the invention in each case at the respective sides of the frame in separate inlets and/or. Discharge for the second gas or the second liquid.

This has the advantage that one can lead the second gases or liquids into that vertical being stacked flow directions separate, which an additional parameter for the process optimization create the development of permitted different pressure drops in both vertical being stacked directions, which z. B. convenient to be can, in order to adjust tolerances in various lengths of capillary hollow fibers. Important is however to add that it also application possibility offers, first gaseous or liquid medium additional to second gas or second liquid also third gas or third liquid also of second gas or second liquid various transfer parameters, since due to

the development of different, from each other separated flow paths for the gas or the liquid, with which the first gaseous or liquid medium is to become loaded, for order to stand.

In accordance with a preferredwise development of the reactor several Membranelemente become a membrane module structural summarized.

This has advantages for a simple assembly of a reactor before all things, by several Membranelemente together into the reactor introduced to become to be able. This measure reduced not only the assembly time, if the reactor for a new, other process with other Membranelementen is to become equipped, but reduced also the time with the purification and/or with other maintenance steps.

After an other prefered development of the invention several Membranelemente in a membrane module become connected so with one another that the outlet of capillary hollow fibers of a Membranelementes in each case with the inlet of capillary hollow fibers of a subsequent Membranelementes interconnected are, so that the second gas or the second liquid in a Membranelement with opposite flow direction becomes the preceding Membranelement guided. With the help of this embodiment the described already above method can be accomplished favourably before all things.

In favourable development the membrane module essentially consists of a cage formed from four corner columns disposed between a rahmenförmigen bottom plate and a rahmenförmigen lid, into who several Membranelemente stacked are.

This structure a possible particularly light in and/or. Assembly of several Membranelemente. In addition, a such membrane module is auseinandernehmbar and with other Membranelementen expandable light

Different thick distance pieces disposed are favourable between the single Membranelementen.

The introduction of distance pieces has the advantage that the process can become optimized by variation of the distances between the Membranelementen in dependence of the size of the reactor and the desired process parameters for the mixture with standardized modules, standing for the order. The introduction of the distance pieces affected both the pressure drop over the reactor, and the mixture of the second gas or the second liquid with the gaseous or liquid medium. By choice of different distance pieces and Membranelemente other parameters are available to reach a desired mixture what is to be regarded as particularly favourable, since the reactor according to invention should be more applicable to the loading of a gaseous or a liquid medium with a second gas or a second liquid in a wide range. By various distance pieces and Membranelemente the most favorable in each case mixing ratio for various Mischproze can be adjusted.

In favourable development central additional supports are provided between the corner columns.

This measure the increased stability of the membrane modules.

One preferably development of the invention plans that the Membranelemente fit like also the distance pieces in the angular insides of the corner columns dense.

This measure permitted it to seal various sides of the Membranelemente against each other. Thus various ranges of the Membranelemente become pressure-moderate from each other decoupled. Due to this measure various flow paths with various printing can become applied, which represents an other assistance for the optimization of the mixture.

In other favourable formation at least two diametric opposite corner columns in contrast to the two other itself diametric opposite corner columns projections pointing outward exhibit themselves, which are certain to the dense fixture on the inside of the housing of the reactor.

With this formation of the invention various spatial regions of the Membranelemente become from each other decoupled by the dense fixture. The extensions have surfaces, which to the reactor wall comes to the request. Such a tightness particularly simple can be attained by the planar formation of the extensions pointing outward. The tightness will all things required, in order to separate inlet and outlet portion for the second gas or the second liquid, so that a pressure difference between inlet region and outlet portion will maintain can, which let the second gas or the second liquid flow by the capillary hollow fibers.

In accordance with a favourable development of the invention the housing of the reactor is symmetrical formed and the corner columns with their projections, cylindrical to the flow axle, attached with which they are at the inner wall of the housing, the reactor area into from each other separated spaces divided, by which the second gas or the second liquid before the penetration into the capillary hollow fibers. and/or. after leaving these capillary hollow fibers flows.

These features lead in advantageous manner to a particularly simple embodiment of a reactor according to invention. The aforementioned square Membranelemente and/or. the membrane modules can be covered by a cylindrical housing light at all corners, whereby all corners of the square frame can come in the cylindrical housing to the request. Only if an inlet region and an outlet portion separated of it are provided, only two from each other separated semi-infinite spaces required, which means, become a seal are only in a diagonal direction of the square frame required. For the seal the already aforementioned projections serve. By the dense fixture at the two corner columns the housing becomes divided into two from each other separated semi-infinite spaces, whereby some semi-infinite space becomes used as inlet and the other semi-infinite space than outlet.

In preferredwise development several such membrane modules become one above the other dense connected with one another in the interior of the reactor disposed and.

Due to the variety of such membrane modules the interaction of the second gas or the second liquid with de gaseous or liquid medium surface standing for the order other increased becomes, so that a still better gas exchange becomes possible. In principle one could summarize all Membranelemente in a single membrane module, this would have however then disadvantages, if the reactor were to become used after execution of a first process subsequent for another process, however not with that same arrangement of the Membranelemente. The assembly with several membrane modules, which are various from each other and in the interior of the reactor disposed to become one above the other to be able, an effected flexible use of such a reactor for different processes, which result in a laboratory or a manufacturing facility. This flexibility becomes achieved by the fact that several membrane modules with various Membranelementen and/or. Distance pieces to be provided and after the requirements the combinations of the various Membranelemente alone by exchange of membrane modules changed will must.

Each membrane module forms a complete portion of the reactor, such favourably that each portion a part covers D of housing of the reactor, which is provided with one covering plate on its under and top each, which passages exhibit for the execution of the second gas or the second liquid from a portion to the other one.

Due to this development of the invention it is possible to lead the current of the second liquid or the second gas by the first gaseous or liquid medium in most diverse type. Like that it is for example possible to summarize inlets and outlets or in addition, to bring the second gas or the second liquid, which withdraws from a portion, to another portion again into capillary hollow fibers to introduce, again in order it with the first gaseous or liquid medium in compound. These examples show that most diverse flow guidance possible to become to be able, whereby other possibilities become the optimization of the mixing process the order provided.

In accordance with a preferredwise development of the invention a reactor from a plurality of such portions is composite, which form a module cascade.

With the module cascade in each case the outlet for the second gas or the second liquid of a portion with the Einl for the second gas or the second liquid in another portion becomes interconnected. Thus develops only a single inlet for the second gas or the second liquid, which and/or. which becomes multiple in various portions by the only gaseous or liquid medium passed, until it out-steps at an outlet. With the help of this measure the remainder portion of the second gas or the second liquid, which from a portion out-steps, becomes reduced, because the part not received of the gaseous or liquid medium becomes multiple in

interaction with the gaseous or liquid medium brought. With this embodiment the remainder portion of the second gas or the second liquid is smaller after passes of the reactor, as if only a common inlet for all Membranelemente provided was this is therefore favourably, since only smaller compressors or pumps become required, if the not received second gas becomes or the second liquid the inlet recycled. An other advantage consists of the fact that the safety expenditure is smaller to the disposal of the second gas or the second liquid, if this and/or these for example toxic is.

It is from particular advantage however that with the development mentioned the second gas or the second liquid does not only flow in a direction, but within the first Mediums and guided become. This measure provides for better mixing of the second gas or the second liquid with the first gaseous or liquid medium. Since with the Durchflies of a second liquid or a second gas by a capillary hollow fiber a pressure drop develops over the length the same, can with a guide in the same direction of the second gas or the second liquid by the gaseous or liquid medium an uniform mixture only incomplete achieved become, because at the inlet and at the outlet different physical conditions are present. This difference from inlet to outlet, may be also still so small it, becomes partly in accordance with the development by the fact balanced that becomes guided in another portion of the reactor the second gas or the second liquid in opposite direction.

In accordance with another prefered development of the invention in and outlet of each module become connected with one another, so that same pressure gradients in all capillary hollow fibers are present.

This possible one particularly simple construction, one must do however without the advantages and of the Herführens of the second gas or the liquid by the reactor, whereby taking up the second gas same-measured less or the second liquid over the length of the capillary hollow fiber results in. However if the pressure gradients over the capillary hollow fiber are small, no disadvantages of this type are to be feared and the simpler structure of the reactor conditional thereby becomes favourably apparent.

Beside the use of the reactor for enriching a gaseous or a liquid medium with a second gas or the second liquid the reactor with its developments, described above, can become also separation from gases or liquids used. This is a particular advantage opposite the state of the art, since gleic module elements for different applications used to become to be able.

The structure of a reactor is for the separation from gases and/or liquids known, become used with which also capillary hollow fibers, however is suitable this not for enriching from the US-PS 4,959,152, since the second gas can flow or the second liquid not by the capillary hollow fibers. With enriching will second gas in center capillary hollow fibers to rest, while it to inlet sides to flow will, whereby different ratios from the center became to the periphery, becomes introduced at which the second gas or the second liquid, caused, so that with a

transfer of the second gas or the second liquid in a gaseous or a liquid medium cannot become an uniform loading in all cases achieved.

In the contrast in addition with the reactor according to invention the capillary hollow fibers with the second gas or the second liquid are flowed through, so that at all portions of the capillary hollow fibers an offer in excess at flowed through second gas or second liquid is more attainable always. The reactor according to invention is thus superior to the reactor known from the state of the art with the loaded one and can become beyond that also still for the separation from gases or liquids used. The reactor according to invention possesses the advantage to be able to accomplish various operation modes like the loaded and the separation with the same Membranelementen. This a permitted standardization and affects itself inexpensive for the processing, since less various parts on bearing held to become to have.

The apparatus as well as the method of more near explanatory embodiments which can be accomplished thereby are described on the basis the Zeichnunge.

Show:

Fig. 1 to 4 perspective views various embodiments of Membranelementen, which with the invention process used to become to be able,

Fig. 5 a perspective view several Membranelemente and distance pieces of a comprising membrane module,

Fig. 6 a plan view on a membrane module formed as portion of the reactor,

Fig. 7 a section along line VII VII in Fig. 6,

Fig. 8 a schematic section by several cascade stacked on top of one another membrane modules a contained reactor, with that the second gas or the second liquid in the direct current with the first gaseous or liquid medium guided becomes and

Fig. 9 a section in accordance with Fig. 8, guided with which the second gas or the second liquid in the counterflow becomes the first gaseous or liquid medium.

In the subsequent description, as also in the figs, the first gaseous or liquid medium becomes always with fluid I and the second gas or the second liquid with fluid II referred.

For the execution of other down explained method to the loaded one of the fluid I with second fluid a II suitable reactor for the method the substantial and structural contains particularly integrates capillary hollow fibers 1 and/or. 1 min. These become vertical to the

flow direction of the fluid I disposed, within Membranelementen 2, like them in the Fig. 1 to 4 shown are. In place of the capillary hollow fibers also the mentioned already above perforated hoses can become used.

The Membranelemente 2 essentially consist of a frame with an upper frame part 3 and a lower frame part 4, between those the capillary hollow fibers 1 and/or. 1 min clamped are. Between the frame parts 3 and/or. 4 clamped open ends of the capillary hollow fibers 1 and/or. 1 min are both against each other and opposite the frame parts 3 and/or. 4 sealed. This can take place for example in the form that the ends of the capillary hollow fibers 1 and/or. 1 min in a sealing adhesive, z. B. Synthetic resin, embedded are. The upper and lower frame parts 3 and/or. 4 exhibits same in each case large flow openings 5, which the fluid can flow through into the Membranelement 2 inside and this. By this formation fluid II separated of I knows fluid by the capillary hollow fibers 1 and/or. 1 min and fluid I separated of fluid II by the Membranelement 2 flow through.

There is various framework forms to the fixture of the capillary hollow fibers 1 and/or. 1 min possible, those in the Fig. 1 to 4 square shape shown permits however a simple manufacture and is particularly favourable for the incorporation into a reactor. A particular advantage results however in as much as the open ends that vertical to each other disposed capillary hollow fibers 1 and/or. 1 min of the respective planes due to the geometry on in each case a side of the frame disposed are. The inlet and discharge openings of the capillary hollow fibers 1 and that vertical capillary hollow fibers 1 min located in addition can become therefore separated from each other operated, which in particular for the flow guidance within a out several, the Membranelemente 2 comprising membrane modules formed module cascade is favourable, as late still incoming described becomes.

The square embodiment of the frame has the advantage that all used capillary hollow fibers 1 and/or. 1 min same prolonged are. Commodity this the case, different physical conditions in different directions did not become herrsc due to the pressure drop of the flowing through fluid II

Fig. 1 shows a simple embodiment of the Membranelemente 2, with that the capillary hollow fibers 1 and/or. 11 of the rectified in each case planes precise lies one above the other. In contrast to it are with in Fig. 2 represented Membranelement 2 the capillary hollow fibers 1 disposed in the respective planes and/or. the capillary hollow fibers 1 min to those into that in each case different planes against each other offset. Thus ensured that each flow two dimensional element of the fluid I similar conditions for the interaction with the capillary hollow fibers has 1 and 1 min, becomes like arbitrary other adjacent two dimensional element.

The effectiveness of the interaction between fluid I and fluid II becomes in this way increased. In principle one would know the capillary hollow fibers 1 also to the improvement

of the interaction and/or. 1 min in a plane arbitrary dense put. Such an arrangement would have however the disadvantage that the current of the fluid I a large resistance opposite becomes, whereby a part of the momentum of the fluid I is lost and/or. the pressure the same of the upper frame part 3 of the Membranelementes 2 4 strong corresponding to the lower frame part drops, which both for the maintenance uniform conditions within a complete reactor equipped with Membranelementen 2 undesirable is, as it also the Membranelemente 2 and the capillary hollow fibers 1 and/or. 1 min adverse loaded. Therefore it is more favourable, the capillary hollow fibers 1 and/or. to arrange 1 min in each case with gaps to each other in a plane, whereby these gaps by an offset arrangement of the capillary hollow fibers 1 and/or. 1 min of another plane as it were closed become. By the choice the gap-large and the degree of the displacement of the planes to each other, the size of the swirl within the Membranelementes 2, which affects direct the mixture of the fluid II with fluid the I, can become, adjusted.

With very much high temperatures the capillary hollow fibers can expand and become movable. If they become by the current D fluid I moved, they take up not only energy from the current, but become also mechanical loaded by the corresponding movements, which lowers the lifetime. Similar ratios are present, if due to other application requirements particularly elastic materials for the capillary hollow fibers used to become to have.

In order to avoid these energy-living movements, z becomes. B. in the state of the art sticking that together capillary hollow fibers or also the woven with thin fibers from nylons, polyesters or similar recommended. The capillary hollow fibers 1 and/or. 1 min know in addition, verwoben even with one another to become. A such embodiment is in Fig. to see 3, with which the capillary hollow fibers 1 with the capillary hollow fibers 1 min interlink fabric-like like chain and weft, whereby in each case one of the capillary hollow fibers 1 works 1 min than weft as chain and another vertical capillary hollow fiber located in addition.

The embodiment after Fig. 3 is particularly favourable also therefore, because no additional materials, like adhesives, nylons, polyesters or similar used and by fluid the I are flowed against. Not to fear it is thus that with works with aggressive fabrics for fluid I or fluid II parts additional materials removed become, whereby itself a change of the Membranelemente would have 2 like also an interference of the other process, with which the fluid becomes I required, by contaminants of the same to the sequence.

Fig. 4 finally still another fourth embodiment for a Membranelement 2 in which only planes rectified capillary hollow fibers 1 disposed are, shows thus to planes with vertical capillary hollow fibers 1 min located in addition was done without. Such an embodiment is to be used if because of special structural design of the reactor only in each case an inlet and/or. Outlet side 6 and/or. 7, used to become to be able.

With a such embodiment however whole is to be particularly made certain that the 1 covered if possible uniform of fluid I is the applied cross section with capillary hollow fibers, since otherwise only small swirls in axial direction of the capillary hollow fibers become 1 generated. From this reason are here also, like already in compound with Fig. 2 described, the capillary hollow fibers 1 of a plane opposite the capillary hollow fibers 1 of another plane offset.

With all in Fig. 1 to Fig. 4 described embodiments it is to be recognized that for each flow direction several planes of capillary hollow fibers 1 and/or. 1 min present are. Investigations have shown that the described membrane modules 2 most effectively with 1 to 5 planes of capillary hollow fibers 1 and/or. 1 min for each flow direction operated become.

All before-described embodiments of the membrane modules 2 can be used for the invention process. With this the fluid becomes II, with which the fluid becomes I loaded, into the capillary hollow fibers 1 and/or. 1 min guided, which possess fiber walls with a microporous structure, by which the fluid II into the fluid 1 penetrate can. The transfer of the fluid II from the capillary hollow fibers 1 and/or. 1 min into the fluid I happens due to gradients and physical or chemical parameters, from which in particular pressure, temperature or concentration differences are to be called. In case of of pressure gradients already a small pressure difference hands the fluid II to that between fluid II and fluid I, i.e. a pressure differential, by the pores of the microporous fiber wall of the capillary hollow fibers 1 and/or. 1 min at its outer wall brings where it a phase boundary to fluid the I and/or. Bubble forms. Due to the current of the fluid I the bubbles are cut either or due to the dynamic pressure of the current direct into the fluid I sucked. By the impact of fluid I a capillary hollow fiber 1 and/or. 1 min resultant swirls or turbulences ensures for the fact that itself fluid I with fluid II mixed good over a larger space. The supply of the fluid II into the fluid I over capillary hollow fibers 1 and/or. 1 min instead of by aeration bodies to the state of the art is above all favourable because that is appropriate for surfaces/volume ratio with capillary hollow fibers substantial more favourable as it by aeration body achieved become could. This applies above all if fluid II is a gas, because gas bubbles cannot become due to the surface tension arbitrary small held.

With the examples after Fig. 1 to Fig. 3 is the capillary hollow fibers 1 vertical to the capillary hollow fibers 1 min in various planes provided. Thus all direction components of the turbulences of the fluid become I with the impact the capillary hollow fibers 1 and/or. 1 min for washing around the surfaces of the capillary hollow fibers 1 and/or. 1 min utilized, whereby the effectiveness of the mixture fluid of the II with fluid the I increased becomes.

If larger exchangeflat become between fluid II and fluid I than the 5 times 2 layers of capillary hollow fibers required, specified above, the single Membranelemente can become 2 membrane modules 8 summarized. A such membrane module 8 is in Fig. 5 shown.

In the membrane module 8 the fluid I flows by several one behind the other disposed Membranelemente 2, those by distance pieces 9 and/or. 10 in a distance from each other held become. The entire structure is held together by a cage 11, that essentially a rahmenförmige bottom plate 12, a likewise rahmenförmigen lid 16 and between both disposed corner columns 13 and/or. 14 covers. To the increase of the stability of the cage 11 can between the corner columns 13 and/or. 14 still other supports 15 provided its, like it in the embodiment after Fig. 5 shown is.

The corner columns 13 are in contrast to the corner columns 14 17 designed with projections, equally the corner columns 13 associated in each case ranges such projections 18 exhibit the rahmenförmige bottom plate 12 and the rahmenförmige lid in their, which with their outer surfaces 19 at the inner wall of a reactor housing attached to become to be able. The outer surfaces 19 rest against the inner wall sealing, how late still described becomes. Also between the corners of the Membranelemente 2 as well as the distance pieces 9 and/or. 10 and the insides of the corner columns 13 and 14 is seals provided.

After removal of the lid 11 alternate distance pieces 9 can do 16 of the cage 11 and/or for the equipment of the cage. 10 and Membranelemente 2 inserted becomes. By the choice of distance pieces different dimensions like also the order of such distance pieces 9 and/or. 10 on the one hand and Membranelemente 2 different properties on the other hand, a membrane module 8 for different applications optimized can become.

8 made already brought that together in same way, as it in connection with the Membranelementen 2 after the Fig from liquids or gases by means of such a membrane module. 1 to 4 described became. The flow directions for fluid I and fluid II are also in Fig. 5 with arrows indicated. The fluid II is led out with this embodiment by two sides of the cage 11 into the capillary hollow fibers inside and on the opposite side, while the fluid I flows by the rahmenförmigen lid 16 between the capillary hollow fibers through to the bottom plate 12.

Fig. the plan view shows 6 to a membrane module 8 used in an housing 20. The housing 20 encloses the membrane module 8, whereby the outer surfaces 19 of the projections 17 at the corner columns 13, to which lid 16 and the bottom plate 12 dense rest against the inner wall of the housing 20. The two spaces 21 formed thereby and/or. 22 serves II for the flow guidance of the fluid, with which the fluid is to become I applied. Fluid II becomes through in an housing cover 23 intended inlets 24 and/or. 25 into the space 21 introduced and bottom pressure held. Thus it withdraws into the capillary hollow fibers in the membrane module 8 disposed of the Membranelemente 2 and on the opposite side into the space 22, from which it through in the housing bottom 26 of intended outlets 27 and/or. 28 and from there into a circuit recycled, disposed or however into an other housing with another membrane module, disposed under it, guided flows will can, how late still described becomes.

The better illustration of the before-described flow guidance of the fluid II by the housing 20 becomes on Fig. 7 referred, which a section along line VII VII in Fig. 6 shows.

In on the basis the Fig. 5 to 7 described example is the flow paths of fluid II by the capillary hollow fibers 1 and that vertical capillary hollow fibers 1 min rectified, D located in addition. h., of space 21 to space 22, because only the corner columns 13 of the membrane module 8 are 20 sealed opposite the inner wall of the housing. If one would seal however all four corners of the membrane module 8 opposite the housing 20, result four spaces in the housing of 20 and two from each other separated flow paths, which could become for the fluid II used.

The arrangement of two flow paths opens the possibility to supply fluid I an other gas or fluid which exhibits for example of fluid II various pressure, in order optimum into the fluid to the I introduced to become.

The membrane modules 8 can become managing also with another than described flow guidance applied. For example the current can become so guided that the fluid II outgoing from a first Membranelement 2 becomes into the subsequent second Membranelement 2 and immediately introduced, so that the flow guidance for the fluid II in fluid the I mäanderförmig made. With such Führun influences of physical effects, as they can occur in the before-described example due to the different pressure existing between inlet and outlet, can become reduced.

Fig. 8 and 9 shows the arrangement of several membrane modules 8 within an housing 30 in schematic representation. This housing 30 knows z. B. integrally formed its, in which then the single membrane modules are 8 stacked disposed, in addition, it knows from several, in each case a membrane module 8 contained and as in the Fig. 6 and 7 described housings 20 composite its.

Only if the membrane modules become 8 used, 28 provided must be between these separating plates, the which similar taking off and bottom plates 23 and/or. 26 of the housings 20 formed is and passages 29 exhibits, by which the fluid II of membrane module can become 8 membrane module 8 guided. This flow path is in the Fig. 8 and 9 by means of the horizontal directed arrows for fluid II indicated.

This flow path of the fluid II is also in Fig. 9 the same, however becomes there fluid I opposite the embodiment in accordance with Fig. 8 by the reactor passed. The reactor after Fig. 8 that works after Fig in the “direct current”. 9 in the “counterflow”.

Due to the compounds of the single membrane modules 8 over the passages 29 in the separating plates, arranged in a module cascade, 28 the fluid II in the module cascade and guided becomes, whereby the fluid II outgoing from a membrane module 8 becomes 8

admitted into the subsequent membrane module. Of fluid I the received portion within the fluid II cannot interact thus again with fluid, so that the remainder portion of the fluid is smaller II substantial, than this would be during a flow in the same direction of all membrane modules 8 the case.

A smaller remainder portion to fluid II is in as much from advantage as its subsequent treatment becomes substantial simplified. If the remainder portion becomes again the inlet of the reactor back-pumped, whereby its pressure becomes increased, then substantial smaller compressor capacities are required. If the fluid is II toxic, then becomes smaller due to the smaller remainder portion of the effort for safety precautions and disposal.

The operation of a reactor in the direct current is favourable if for the transfer of the fluid II into the fluid I pressure differences substantial are. Due to the interaction of the fluid I with the capillary hollow fibers 1 and/or. 1 min in the membrane modules 8 is to be expected a pressure drop from the inlet side to the outlet side. The capillary hollow fibers oppose likewise fluid to the II a resistance, so that a pressure drop from their respective inlets develops also here to their discharge. With rectified current of fluid II and fluid I inlet to the outlet thus the pressure differences between both fluids become substantial less affected, than the pressures themselves, D. h., the desired uniformity with the loaded one of the fluid I with fluid the II due to pressure differences is essentially ensured by such an operation.

Differently the case lies, if the uptake of the fluid II in fluid the I is due to concentration differences in the direct current erfol. The volume fraction of fluid II in the capillary hollow fibers 1 and/or. 1 min is in the vicinity of the inlet large and the concentration of the fluid II in fluid the I low. In the vicinity of the outlet the volume fraction of the fluid II in the capillary hollow fibers is smaller against it gewor and the fluid I has a larger concentration in fluid the II believed. This means that no uniform uptake of the fluid II in fluid the I takes place, since the concentration differences vary over the reactor-prolonged. E offers itself here thus to drive the reactor in the counterflow.

In Fig. 9 represented reactor is therefore inlet and outlet for the fluid in relation to I in Fig. 8 illustrated embodiment exchanges. Analogous one to the above difference of pressure considerations is understanding that the concentration differences vary less here between fluid I and fluid II over the reactor-prolonged.

Apart from these more theoretical considerations lab tests show that the application of the countercurrent process brings considerable advantages in the aeration range, in addition, with exchange of material and separate ion processes as well as with the microfiltration. Of fluid I received amounts to fluid II was more favourable for all experiments in the countercurrent process as with an operation in the direct current.

The state of the art already shows Membranelemente with capillary hollow fibers, which are

vertical to the direction of a fluid disposed, however has this no defined output and input side. They are thus inappropriate for the loaded of a first gaseous or liquid medium (fluid I) with a second gas or a second liquid (fluid II), will however in the technology used to separate gases and liquids.

A gas separation is possible against it also with the help of the reactor after the invention, this is thus more versatile more useful as the known reactors, because no different formed must become, either for the loading of a first gaseous or fluid medium with a second G or a fluid or for the separation of two liquids or gases of suitable Membranelemente used.

The invention process in compound with the apparatus a possible effective loaded one of a gaseous or fluidem of Mediums with a second gas or a second liquid in a reactor. The high efficiency is to be essentially attributed thereby to large surface areas/volume ratio for the second gas or the second liquid. The small blister-large given from the beginning by the Mikrop it becomes besides by the fact other small held that the bubbles are cut due to rushing over the first gaseous or fluid medium of the surface. A sufficient turbulence arises as a result of D particular arrangement of the capillary hollow fibers in the single Membranelementen and - modules.

[Claims of DE4308697](#)[Print](#)[Copy](#)[Contact Us](#)[Close](#)

Result Page

Notice: This translation is produced by an automated process; it is intended only to make the technical content of the original document sufficiently clear in the target language. This service is not a replacement for professional translation services. The esp@cenet® Terms and Conditions of use are also applicable to the use of the translation tool and the results derived therefrom.

1. Method for enriching a first gaseous or liquid medium with a second gas or a liquid in a reactor, whereby the first gaseous or liquid medium flows along a flow axle of the reactor or flows or is in the batch process presented, characterised in that the second gas or fluid by essentially vertical capillary hollow fibers exhibiting to the flow axle disposed and walls with a microporous structure (1, 1 min) by the first gaseous or liquid medium guided becomes, whereby the second gas or the liquid can occur due to gradients physical or chemical parameters, in particular pressure, temperature and/or concentration differences, because of the microporous structure of the fiber walls the first gaseous or fluid medium.
2. Verfahren according to claim 1, characterised in that the second gas or the second liquid in various directions and planes to and along the flow axle of the reactor by first gasfö r or liquid medium passed becomes.
3. Process according to claim 2, characterised in that the second gas or the second liquid in the direct current to the first gaseous or liquid medium by the reactor guided becomes.
4. Process according to claim 2, characterised in that the second gas or the second liquid, in the counterflow to the first gaseous or liquid medium by the reactor guided becomes.
5. Process according to claim 1, characterised in that the second gas or the second liquid in the capillary hollow fibers with infinitesimal flow rate lines up.
6. Verfahren after one of the claims 1 to 5, characterised in that the pressure of the second gas or the second liquid below the blister developing pressure held becomes.
7. Reactor to the carrying out the process after the claims 1 to 6 with an in and outlets for the first gaseous or liquid medium and the second gas or the second liquid exhibiting housings (20, 30), characterised in that the capillary hollow fibers (1, 1 min) in Membranelementen (2) summarized are.
8. Reactor according to claim 7, characterised in that the Membranelement (2) at least one of

capillary hollow fibers (1, 1 min) formed plane exhibits, whereby the capillary hollow fibers (1, 1 min) approximate parallel is flow throughable to each other run and the Membranelement (2) vertical to this plane.

9. Reaktor according to claim 8, characterised in that the Membranelement (2) several successively planes disposed formed from capillary hollow fibers (1, 1 min) and exhibits.

10. Reactor according to claim 9, characterised in that the respective planes in the Membranelement (2) rotated disposed are to each other.

11. Reactor according to claim 10, characterised in that the planes in the Membranelement (2) around 90 DEG rotated disposed are to each other in each case.

12. Reactor according to claim 11, characterised in that in the Membranelement (2) the capillary hollow fibers (1) plane with the disposed capillary hollow fibers vertical in addition (1 min) of the adjacent plane after type of chain and weft verwoben are.

13. Reaktor after one of the claims 10 or 11, characterised in that the capillary hollow fibers (1, 1 min) of a plane opposite the capillary hollow fibers longitudinal in same direction (1, 1 min) of another plane against each other offset are.

14. Reactor after one of the claims 7 to 13, characterised in that the Membranelement (2) as round or polygonal frames and in particular than rectangular frame (3, 4) formed is, between its opposite sides the capillary hollow fibers (1, 1 min) extends in each case.

15. Reactor according to claim 14, characterised in that the Membranelement (2) as square frames (3, 4) formed and thus the capillary hollow fibers calm in the frame (3, 4) (1, 1 min) same in each case prolonged are.

16. Reaktor according to claim 13 or 14, characterised in that the capillary hollow fibers (1, 1 min) in each case at the respective sides of the frame (3, 4) in separate inlets and/or.

BEST AVAILABLE COPY**Process for enriching a first gaseous or liquid medium with a second gas or ; second liquid and a reactor for carrying out the process****Publication number:** DE4308697**Publication date:** 1994-09-22**Inventor:** DURST FRANZ PROF DR DR (DE); BISCHOF FRANZ DIPL ING (DE); HOEFKEN MARCUS DIPL ING (DE)**Applicant:** DURST FRANZ PROF DR DR H C (DE); BISCHOF FRANZ DIPL ING (DE); HOEFKEN MARCUS DIPL ING (DE)**Classification:**

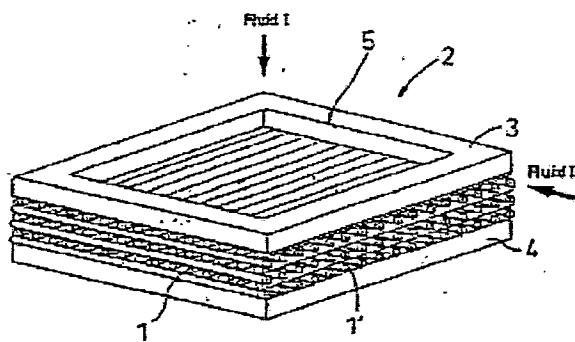
- **international:** B01D53/22; B01D63/02; B01D63/04; B01F5/04;
 B01J4/04; B01J10/00; B01J12/00; B01J14/00;
 B01J19/00; B01J19/24; B01D53/22; B01D63/02;
 B01D63/04; B01F5/04; B01J4/00; B01J10/00;
 B01J12/00; B01J14/00; B01J19/00; B01J19/24; (IPC1-
 7): B01D63/02; B01D53/22; B01D61/00; B01F3/02;
 B01F3/04; B01F3/08; B01J10/00

- **European:** B01D53/22D4B; B01D63/02; B01D63/04B;
 B01F5/04C13; B01J4/04; B01J10/00; B01J12/00;
 B01J14/00; B01J19/00R; B01J19/24P

Application number: DE19934308697 19930318**Priority number(s):** DE19934308697 19930318**Report a data error here****Abstract of DE4308697**

A process for enriching a first gaseous or liquid medium with a second gas or a second liquid uses hollow capillary fibres which lie essentially perpendicularly to the flow axis of the gaseous or liquid medium. In this process the second gas or the second liquid is admitted into the hollow capillary fibres and it mixes with the second gas or the second liquid as a result of gradients in physical or chemical parameters, in particular pressure, temperature or concentration differences.

Appropriate membrane elements having hollow capillary fibres perpendicular to the flow direction for a first gaseous or liquid medium can be installed in a reactor, the membrane elements being connected together in a cascade manner with respect to flow, so that some of the second gas or the second liquid which is not absorbed by the first gaseous or liquid medium is again brought into contact with the first gaseous or liquid medium. This makes possible a particularly effective charging of a gaseous or liquid medium with a second gas or a second liquid.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide



(19) BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND



DEUTSCHES

PATENTAMT

(12) Offenlegungsschrift

(10) DE 43 08 697 A 1

(51) Int. Cl. 5:

B 01 D 63/02

B 01 D 53/22

B 01 D 61/00

B 01 J 10/00

B 01 F 3/02

B 01 F 3/04

B 01 F 3/08

(21) Aktenzeichen: P 43 08 697.7
 (22) Anmeldetag: 18. 3. 93
 (43) Offenlegungstag: 22. 9. 94

DE 43 08 697 A 1

(71) Anmelder:

Durst, Franz, Prof. Dr. Dr.h.c., 91094
 Langensendelbach, DE; Bischof, Franz, Dipl.-Ing.,
 90489 Nürnberg, DE; Höfken, Marcus, Dipl.-Ing.,
 91054 Erlangen, DE

(74) Vertreter:

Geyer, W., Dipl.-Ing. Dr.-Ing.; Fehners, K., Dipl.-Ing.
 Dipl.-Wirtsch.-Ing., Pat.-Anwälte, 80687 München

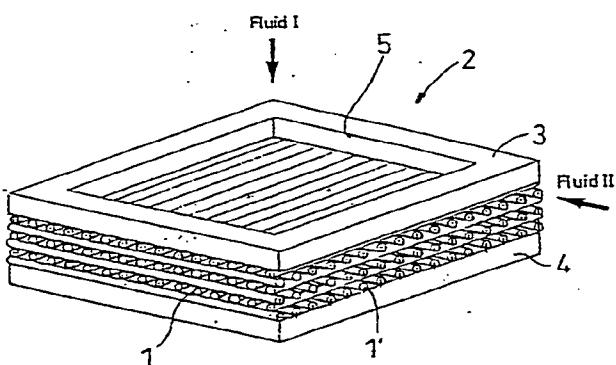
(72) Erfinder:

gleich Anmelder

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

(54) Verfahren zur Anreicherung eines ersten gasförmigen oder flüssigen Mediums mit einem zweiten Gas oder einer zweiten Flüssigkeit sowie ein Reaktor zur Durchführung des Verfahrens

(57) Ein Verfahren zur Anreicherung eines ersten gasförmigen oder flüssigen Mediums mit einem zweiten Gas oder einer zweiten Flüssigkeit verwendet Kapillar-Hohlfasern, die im wesentlichen senkrecht zur Strömungssachse des gasförmigen oder flüssigen Mediums liegen. Dabei wird das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit in die Kapillar-Hohlfasern eingelassen und mischt sich mit dem zweiten Gas oder der zweiten Flüssigkeit aufgrund von Gradienten in physikalischen oder chemischen Parametern, insbesondere Druck-, Temperatur- oder Konzentrationsdifferenzen. Entsprechende Membranelemente mit Kapillar-Hohlfasern senkrecht zur Durchströmrichtung für ein erstes gasförmiges oder flüssiges Medium können in einem Reaktor eingebaut werden, wobei sie bezüglich der Strömung kaskadenartig miteinander verbunden werden, so daß ein Teil des zweiten Gases oder der zweiten Flüssigkeit, der nicht von dem ersten gasförmigen oder flüssigen Medium aufgenommen wurde, wieder in Kontakt mit dem ersten gasförmigen oder flüssigen Medium gebracht wird. Dies ermöglicht ein besonders effektives Beladen eines gasförmigen oder flüssigen Mediums mit einem zweiten Gas oder einer zweiten Flüssigkeit.



DE 43 08 697 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 07. 94 408 038/289

19/39

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Anreichern eines ersten gasförmigen oder flüssigen Mediums mit einem zweiten Gas oder einer Flüssigkeit in einem Reaktor, wobei das erste gasförmige oder flüssige Medium längs einer Strömungsachse des Reaktors strömt oder fließt oder im Chargenbetrieb vorgelegt ist. Darüber hinaus umfaßt die Erfindung Reaktoren zur Durchführung des Verfahrens, wie auch die Anwendung der Reaktoren zum Trennen von Gasen und Flüssigkeiten.

Aus der US-PS 4 959 152 ist eine Trennung von Gasen oder Flüssigkeiten mit Hilfe von Kapillar-Hohlfasern bekannt, bei dem eine Gaskomponente eines ersten gasförmigen oder flüssigen Mediums wegen der mikroporösen Struktur der Faserwände der Kapillar-Hohlfasern aufgrund von Gradienten, beispielsweise in der Konzentration und im Druck, in die Kapillar-Hohlfasern eintritt und aus diesen herausgeführt werden kann. Nach der im Stand der Technik gegebenen Lehre kann diese Technik nur zur Trennung von Flüssigkeiten bzw. Gasen benutzt werden.

Das Beladen eines gasförmigen oder flüssigen Mediums mit einem zweiten Gas, also das Zusammenführen verschiedener Stoffe mit dem Ziel einer Stoffvereinigung, stellt einen der wichtigsten Verfahrensschritte innerhalb der chemisch-biotechnologischen und deren artverwandten Industrien dar. Ein derartiges Zusammenführen verschiedener Stoffe wird beispielsweise durchgeführt, um eine Reaktion zwischen verschiedenen Ausgangsstoffen zu erhalten, damit ein höherwertiges Produkt erzeugt wird. Es kann sich bei solchen Prozessen um rein physikalische Absorptionsprozesse handeln, um beispielsweise eine Flüssigkeit mit einer bestimmten Gaskomponente zu beladen oder aber einen dem Gasstrom anhaftenden Feststoff in einer Flüssigkeit zu lösen (Gaswäsche).

Zum Stoffaustausch wird im allgemeinen ein Reaktor benutzt, der entsprechend der gewünschten Reaktionsgeschwindigkeiten, der physikalischen Löslichkeiten, der Stoffeigenschaften, der erforderlichen Drücke und benötigten Temperaturen ausgelegt wird. Dabei liegt der Schwerpunkt der Gestaltung und Dimensionierung darin, den Kontakt zwischen den beteiligten Komponenten innerhalb des Reaktors möglichst großflächig zu gestalten. Um dies zu erreichen, geht man im allgemeinen die folgenden Wege:

- 1) Eine der vorliegenden Phasen, beispielsweise die Gasphase bei Gas/Flüssigreaktionen, wird möglichst feindispers durch viele Düsen in den mit Flüssigkeit gefüllten Reaktor eingebracht.
- 2) Die Flüssigkeit wird als sehr dünner Film oder Tropfen einer Gaskomponente entgegengeführt.
- 3) Eine der Phasen wird mit Hilfe von Einstoff- oder Mehrstoffdüsen mit sehr hoher Geschwindigkeit in den Reaktor eingetragen. Aufgrund eines selbständigen oder gezielt beeinflußten Strahlzerfalls wird diese Phase fein dispergiert.

Zur Durchführung der Verfahren wird üblicherweise ein Rohrreaktor benutzt, durch welchen das zu beladene gasförmige oder flüssige Medium hindurchfließt. Das zweite Gas bzw. die zweite Flüssigkeit, welches bzw. welche mit dem gasförmigen oder flüssigen Medium zusammengeführt werden soll, kann im Gleichstrom oder im Gegenstrom in den Rohrreaktor geführt werden, um eine höhere Konzentrationsdifferenz zwischen

den verschiedenen Phasen zu erzielen.

Eine weitere Möglichkeit zur Verbesserung der Mischung besteht darin, das gasförmige oder flüssige Medium mit dem zweiten Gas oder der zweiten Flüssigkeit in einem Rührkessel zusammenzuführen, in dem eine hohe Turbulenz erzeugt wird, um die Phasengrenze ständig zu erneuern und somit den Stoffaustausch zu intensivieren.

Nachteilig bei diesen Verfahren ist der üblicherweise benötigte hohe Energieaufwand zur Stoffvereinigung. Außerdem enthalten solche Rührkessel mechanisch bewegliche Einbauten, die einen hohen Investitions- und Wartungsaufwand erfordern.

Zur Vermeidung dieser Nachteile werden bei Gas/Flüssigreaktionen in der angewandten Technik sehr häufig Blasensäulen in den verschiedensten Ausführungen verwendet. Dabei wird allgemein ein Behälter mit Flüssigkeit durchströmt. Zu dieser Flüssigkeit wird die Gasphase in der Regel über starre oder elastische Düsensysteme zugeführt. Dies bedeutet, daß als Begassungsfläche im wesentlichen nur der Behälterquerschnitt am Reaktorboden zur Verfügung steht. Um eine große Phasengrenzfläche und ein effektives Mischen zu erreichen, wird daher der Gasstrom in möglichst feine Gasblasen durch entsprechende Düsensysteme zerlegt, wodurch ein hoher Anteil der Gasphase mit maximaler Stoffaustauschfläche innerhalb des Reaktors erreicht wird. Als Begassungskörper werden beispielsweise Lochplatten, poröse Keramiken oder perforierte Elastomere in den verschiedensten Ausführungen verwendet.

Nachteilig bei diesen Gaszufuhrsystemen ist, daß sie nur in kontinuierlich betriebenen Reaktoren eingesetzt werden können, da ein Abstellen des Gasstroms ein Eintreten der Flüssigkeit in den Begassungskörper zur Folge haben könnte.

Ein weiterer Nachteil bei Reaktoren nach dem Stand der Technik ergibt sich aufgrund der Tatsache, daß die anfangs durch den Begassungskörper produzierte Blasengröße innerhalb des Reaktors starken Blasenkoalenzzen unterworfen ist, wobei sich eine Gleichgewichtsblasengröße einstellt, so daß der Wirkungsgrad durch eine Verkleinerung der Poren eines Begassungskörpers nicht beliebig verbessert werden kann. Ein höherer Umsatz kann hier nur über entsprechende Reaktordimensionierung, beispielsweise durch Wahl einer größeren Grundfläche, erfolgen.

Aufgabe der Erfindung ist es nun, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Anreichern eines ersten gasförmigen oder flüssigen Mediums in einem zweiten Gas oder einer zweiten Flüssigkeit zu schaffen, bei dem eine wesentlich größere Fläche für den Stoffaustausch zur Verfügung steht, als es bei Systemen nach dem Stand der Technik, beispielsweise mit Begassungskörpern, möglich ist.

Die auf das Verfahren der eingangs genannten Art gerichtete Aufgabe wird dadurch gelöst, daß das zweite Gas oder die Flüssigkeit durch im wesentlichen senkrecht zur Strömungsachse angeordnete und Wände mit einer mikroporösen Struktur aufweisende Kapillar-Hohlfasern durch das erste gasförmige oder flüssige Medium geführt wird, wobei das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit aufgrund von Gradienten in physikalischen oder chemischen Parametern, insbesondere Druck-, Temperatur- und/oder Konzentrationsdifferenzen, wegen der mikroporösen Struktur der Faserwände in das erste gasförmige oder flüssige Medium eintreten kann.

Die Erfindung ist aber nicht auf Kapillar-Hohlfasern begrenzt, statt Kapillar-Hohlfasern können auch Röhrchen und/oder elastische Schläuche geringen Durchmessers genommen werden, die maschinell perforiert sind und die Funktion der Kapillar-Hohlfasern übernehmen. Derartige Röhrchen oder Schläuche sind den Kapillar-Hohlfasern äquivalent. Wenn sie weiter unten in der Beschreibung und/oder in den Ansprüchen genannt sind, sind Röhrchen oder elastische Schläuche der vorgeschriebenen Art immer mitgemeint.

Erfnungsgemäß werden die Kapillar-Hohlfasern mit dem zweiten Gas oder der zweiten Flüssigkeit beaufschlagt und dieses oder diese tritt über die Oberfläche der Faserwände durch die Poren der Faserwände mit dem ersten gasförmigen oder flüssigen Medium in Kontakt. Die Kapillar-Hohlfasern werden im wesentlichen senkrecht zur Strömungsrichtung angeordnet, so daß Moleküle des ersten gasförmigen oder flüssigen Mediums von den Kapillar-Hohlfasern in ihrer Bewegung gehemmt werden. Durch die entsprechend lange Verweilzeit des ersten gasförmigen oder flüssigen Mediums an den Kapillar-Hohlfasern wird die Wechselwirkung intensiviert. Weiter entstehen an der Faser aufgrund des anströmenden ersten gasförmigen oder flüssigen Mediums turbulenzähnliche Fluidbewegungen, die die Bläschen oder Tropfen des zweiten Gases oder der zweiten Flüssigkeit effektiv mit ersten gasförmigen oder flüssigen Medium mischt (Überschreiten des Bubble-Points der eingesetzten Kapillar-Hohlfasern). Eine senkrecht zur Durchströmrichtung liegende Kapillar-Hohlfaser kann prinzipiell an beiden Enden mit einem zweitem Gas oder einer zweiten Flüssigkeit beaufschlagt werden kann, da eine bevorzugte Anströmrichtung für das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit nicht gegeben ist.

Je nach Druck auf die Faserwand der Kapillar-Hohlfaser tritt das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit oder die gewünschte Gaskomponente oder Flüssigkeitskomponente bei Verwendung gasselektiver Hohlfasern blasenfrei oder in Form sehr kleiner Gasblasen in das die Faser umgebende gasförmige oder flüssige Medium ein. Schon bei geringem Druck werden sich Blasen an der Oberfläche der Kapillar-Hohlfasern bilden, die von dem anströmenden ersten gasförmigen oder flüssigen Medium abgeschert werden können, wobei sich eine besonders gute Mischung ergibt. Ein Teil der Energie zur Überführung des zweiten Gases oder der zweiten Flüssigkeit in das erste gasförmige oder flüssige Medium wird also der Bewegungsenergie entnommen. Bei dieser Art der Mischung ist deshalb aus energetischen Betrachtungen zu erwarten, daß die für das Eintreten des zweiten Gases oder der zweiten Flüssigkeit in das erste gasförmige oder flüssige Medium erforderlichen Gradienten wesentlich geringer sind, als es im umgekehrten Fall, wie bei der US-PS 4 959 152, zur Trennung von Stoffen nötig ist, denn es kommt hier ein wesentlich anderer Mechanismus zur Anwendung. Das unterscheidet die erfungsgemäß Zusammenführung von Stoffen von der aus dem Stand der Technik bekannten Stofftrennung grundsätzlich.

Verwendbare Kapillar-Hohlfasern sind aus dem Stand der Technik bekannt. Beispielsweise beschreibt die US-PS 4 970 034 die Herstellung isotroper mikroporöser Polysulfone mit Hilfe einer Naßspinntechnik. Eine Schmelzspinntechnik zur Herstellung von Kapillar-Hohlfasern ist beispielsweise in der US-PS 4 956 237 beschrieben. Statt der genannten Kapillar-Hohlfasern können auch, wie bereits oben erwähnt, Röhrchen und

elastische Schläuche verwendet werden, die einen gerin- gen Durchmesser aufweisen und maschinell perforiert sind.

Das erfungsgemäß Verfahren ist vor allem des-
5 wegen vorteilhaft, weil die Phasengrenzen zwischen zweitem Gas bzw. der zweiten Flüssigkeit und dem ersten gasförmigen oder flüssigen Medium nicht durch die Eigenschaften, wie z. B. die Oberflächenspannung be-
10 dingt sind, sondern durch die Ausgestaltung der Kapillar-Hohlfasern. Durch den üblicherweise geringen Durchmesser von Kapillar-Hohlfasern entsteht ein sehr günstiges Volumen-/Oberflächenverhältnis, das bei ei-
15 nem Verfahren nach dem Stand der Technik nicht erreichbar ist. Dadurch wird die Wechselwirkung zwis-
20 chen dem zweiten Gas oder der zweiten Flüssigkeit mit dem ersten gasförmigen oder flüssigen Medium intensi-
25 viert und große Mengen der zweiten Flüssigkeit oder des zweiten Gases können leicht in das erste gasförmige oder flüssige Medium gemischt werden.

Ein weiterer Vorteil ist dadurch gegeben, daß, wie oben beschrieben, ein Teil der Energie zur Überführung der zweiten Flüssigkeit oder des zweiten Gases, aus der Bewegungsenergie des ersten gasförmigen oder flüssigen Mediums entnommen werden kann, so daß zur Überführung nur kleine Druck-, Temperatur- und/oder Konzentrationsdifferenzen nötig sind.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung des Verfa-
30 rhens wird das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit in verschiedenen Richtungen und Ebenen zur und entlang der Strömungsachse des Reaktors durch das erste gas-
35 förmige oder flüssige Medium geleitet.

Die verschiedenen Richtungen beziehen sich sowohl auf verschiedene Richtungen senkrecht zur Strömungs-
35 achse, als auch darauf, daß das/die aus den Kapillar-
40 Hohlfasern austretende zweite Gas oder zweite Flüssig-
keit einer Ebene in einer anderen Ebene anderen Kapillar-
45 Hohlfasern zugeführt wird, um für dasselbe zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit eine weitere Wechsel-
50 wirkung mit dem gasförmigen oder flüssigen Medium zu ermöglichen.

Die Leitung des zweiten Gas oder der zweiten Flüs-
55 sigkeit in verschiedene Richtungen senkrecht zur Strö-
mungsachse hat den Vorteil gegenüber einer Führung des Gases in nur einer Richtung, daß alle Richtungskom-
45 ponenten der durch das Anströmen des ersten gasförmigen oder flüssigen Mediums erzeugten turbulenzähnli-
50 chen Fluidbewegung ausgenutzt werden, um mit einer weiteren Kapillar-Hohlfaser wechselzuwirken. Das führt zu einer Intensivierung der Mischung.

Wenn das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit, das bzw. die aus einer Kapillar-Hohlfaser ausströmt, wieder durch eine andere Kapillar-Hohlfaser in den Reaktor zurückgeführt wird, wird ebenfalls die Wechselwirkungswahrscheinlichkeit für das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit mit dem ersten gasförmigen oder flüssigen Medium verbessert. Es wird aber auch der Anteil des zweiten Gases oder der zweiten Flüssigkeit, der den Reaktor wieder verläßt, vermindert. Letztes hat vor allen Dingen den Vorteil, daß der Aufwand zur Rückführung des Anteils des zweiten Gases oder der zweiten Flüssigkeit, welches oder welche nicht mit dem gasförmigen oder flüssigen Medium vermischt worden ist, geringer wird. Dies ist von besonderem Vorteil, wenn das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit toxisch ist und besondere Schutzvorkehrungen getroffen werden müssen.

Bei weiteren bevorzugten Weiterbildungen wird das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit gegenüber dem

ersten gasförmigen oder flüssigen Medium im Gleichstrom oder Gegenstrom durch den Reaktor geführt.

Dabei wird das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit, welches bzw. welche in einer ersten Ebene senkrecht zur Strömungsachse mit dem gasförmigen oder flüssigen Medium in Verbindung steht, nach Austritt aus dieser Ebene einer nachfolgenden Ebene wieder zugeführt. Bei einer derartigen Ausgestaltung fließt das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit relativ zu dem ersten gasförmigen oder flüssigen Medium im Gegenstrom oder im Gleichstrom. Der Gleichstrombetrieb hat den Vorteil, daß Druckgradienten zwischen dem ersten gasförmigen oder flüssigen Medium und dem zweiten Gas oder der zweiten Flüssigkeit sich wenig über die ganze Reaktorlänge ändern, während im Gegenstrombetrieb die Konzentrationsgradienten gegenüber der Reaktorlänge im wesentlichen gleich bleiben. Je nach den die Mischung bestimmenden Parametern kann gemäß dieser Ausgestaltung die optimale Wahl getroffen werden.

Bei einem anderen bevorzugten Verfahren steht das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit in den Kapillar-Hohlfasern mit verschwindender Strömungsgeschwindigkeit an. Diese Art des Verfahrens ist besonders dann vorteilhaft, — wenn von dem zweiten Gas oder der zweiten Flüssigkeit nur wenig in dem ersten gasförmigen oder flüssigen Medium aufgenommen werden soll. Dann kann man das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit unter Druck in die Kapillar-Hohlfasern einlassen. Eine Strömung wird dann nicht gebraucht, was vor allen Dingen den Aufwand für einen gleichmäßigen Einlaß und die Entsorgung von ausströmendem Gas verringert.

Gemäß einer anderen vorzugsweisen Weiterbildung der obengenannten Verfahren wird der Druck des zweiten Gases oder der zweiten Flüssigkeit unterhalb des Blasenentstehungsdruck gehalten.

Dies ist dadurch möglich, weil wie weiter oben beschrieben, nur ein Teil der Energie zur Mischung aus dem zweiten Gas oder der zweiten Flüssigkeit entnommen werden muß, da ja das Verfahren so geführt werden kann, daß das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit von dem ersten gasförmigen oder flüssigen Medium abgesichert oder herausgesaugt werden kann.

Die weiterhin auf die Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens gerichtete Aufgabe wird dadurch gelöst, daß bei einem Reaktor mit einem Ein- und Auslässe für das erste gasförmige oder flüssige Medium und das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit aufweisenden Gehäuse die Kapillar-Hohlfasern in Membranelementen zusammengefaßt sind.

Man könnte zwar die einzelnen Kapillar-Hohlfasern direkt in dem Reaktor anordnen, jedoch wäre dieses ungünstig, da die Kapillar-Hohlfasern bei Änderung des Prozesses, Reinigung oder Wartung im Reaktor schlecht entfernt werden können. Die Anordnung von Kapillar-Hohlfasern in Membranelementen ermöglicht es, diese einzeln aus dem Reaktor zu entnehmen sowie für eine andere Anwendung unterschiedlich wieder einzusetzen.

In vorteilhafter Weiterbildung des Reaktors weisen die Membranelemente mindestens eine von Kapillar-Hohlfasern gebildete Ebene auf, wobei die Kapillar-Hohlfasern annähernd parallel zueinander verlaufen und das Membranelement senkrecht zu dieser Ebene durchströmbar ist.

Aufgrund dieser Ausgestaltung liegen die Membranelemente in der Strömungsrichtung des ersten gasförmigen oder flüssigen Mediums hintereinander. Das ermög-

licht ein leichtes Bestücken des Reaktors. Insbesondere wird dadurch auch in vorteilhafter Weise ermöglicht, daß unterschiedliche Membranelemente in verschiedenen Ebenen angeordnet werden, wodurch auch die Mischungsfähigkeit für unterschiedliche Anwendungen optimiert werden kann.

Gemäß weiterer vorteilhafter Weiterbildung weist das Membranelement mehrere aus Kapillar-Hohlfasern gebildete und nacheinander angeordnete Ebenen auf.

Die Einführung mehrerer Ebenen innerhalb eines Membranelements erhöht weiter die Größe der Oberfläche für eine Wechselwirkung des zweiten Gases oder der zweiten Flüssigkeit mit dem ersten gasförmigen oder flüssigen Medium, indem die Kapillar-Hohlfasern wesentlich dichter angeordnet werden können, als es durch Hintereinanderschichtung mehrerer Membranelemente möglich wäre. Sind in einem Membranelement zu wenig Fasern angeordnet, beispielsweise, indem nur eine Ebene vorhanden ist, sinkt der Wirkungsgrad für das Beladen des ersten gasförmigen oder flüssigen Mediums mit dem zweiten Gas oder der zweiten Flüssigkeit, sind dagegen viele Ebenen angeordnet, entstehen turbulenzartige Fluidbewegungen, die einem Weiterfließen des ersten gasförmigen oder flüssigen Mediums einen Widerstand entgegensetzen. Untersuchungen haben gezeigt daß Membranelemente mit in mehreren Ebenen angeordneten Kapillar-Hohlfasern für ein Zusammenführen des zweiten Gases oder der zweiten Flüssigkeit mit dem ersten Medium besonders wirksam sind, wenn ein bis fünf Ebenen pro Strömungsrichtung des zweiten Gases oder der zweiten Flüssigkeit innerhalb eines Membranelements vorgesehen sind.

Gemäß einer vorzugsweisen Weiterbildung der Erfindung werden die jeweiligen Ebenen in dem Membranelement zueinander gedreht angeordnet. Aufgrund dieser Maßnahme können alle Richtungskomponenten der durch das Anströmen des gasförmigen oder flüssigen Mediums an einer Ebene erzeugten turbulenzähnlichen Fluidbewegung ausgenutzt werden.

Dadurch entsteht eine besonders gute Mischung der durch die eine Kapillar-Hohlfaser anströmenden Moleküle des gasförmigen oder flüssigen Mediums erzeugten abgelösten Blasen mit dem gasförmigen oder flüssigen Medium. Um möglichst alle Richtungen der Turbulenzen ausnutzen zu können, sollten dann nahezu alle Richtungen in verschiedenen Ebenen berücksichtigt werden.

Gegenüber einer solchen Ausführungsform mit vielen unterschiedlichen Richtungen sieht eine bevorzugte Weiterbildung der Erfindung vor, verschiedene Ebenen in dem Membranelement jeweils zueinander um 90° gedreht anzuordnen.

Mit einer derartigen Anordnung werden praktisch schon alle Richtungen erfaßt, da die die Strömung bestimmenden physikalischen Parameter an jedem Raumpunkt im Reaktor einen Vektor darstellen, der sich in zwei resultierende Komponenten in den Ebenen mit Kapillar-Hohlfasern aufteilen läßt.

Eine besonders vorteilhafte Weiterbildung sieht vor, daß in dem Membranelement die Kapillar-Hohlfasern der einen Ebene mit den dazu senkrecht angeordneten Kapillar-Hohlfasern der benachbarten Ebenen nach Art von Kette und Schuß verwoben sind.

Dies ist besonders vorteilhaft, um die Stabilität zu erhöhen und die Belastung der einzelnen Membranelemente gering zu halten. Bei Membranelementen mit Kapillar-Hohlfasern kann nämlich ein Problem auftreten, weil die einzelnen Kapillar-Hohlfasern in einer Ebene, beispielsweise aufgrund von Wärmeausdehnung,

nicht mehr definiert an einem Ort liegen oder sogar durch die Strömung des ersten gasförmigen oder flüssigen Mediums in Bewegung bzw. Schwingung versetzt werden. Dies stellt erstens eine mechanische Belastung der Kapillar-Hohlfaser dar, zweitens nimmt die Bewegung oder Schwingung auch Energie auf. Beides sind ungünstige Voraussetzungen für den Betrieb eines Reaktors. Deshalb ist es zweckmäßig, die Kapillar-Hohlfasern zu befestigen. Zur Lösung eines ähnlichen Problems sieht z. B. die US-PS 4 959 152 Kleber oder separate Nylonfäden vor. Gemäß der Weiterbildung der Erfindung werden aber zur Verbesserung der Befestigung senkrecht zueinander angeordnete Kapillar-Hohlfasern in Form eines Gewebes, wie es aus der Webtechnik mit Kette und Schuß bekannt ist, miteinander verbunden. Eine derartige Befestigung ist wesentlich günstiger, als die nach dem Stand der Technik bekannte, da sie auch bei hohen Temperaturen hält und man auch auf zusätzliche Stoffe in Klebern oder Zusatzfäden in den Bereichen des gasförmigen oder flüssigen Mediums verzichtet, die sowohl für die Strömungsführung als auch für die Reinheit der Ausgangsstoffe nachteilig sein können.

Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung sind die Kapillar-Hohlfasern einer Ebene gegenüber den in gleicher Richtung verlaufenden Kapillar-Hohlfasern einer anderen Ebene gegeneinander versetzt.

Das hat den Vorteil, daß alle Teile des durchströmenden ersten gasförmigen oder flüssigen Mediums mit Kapillar-Hohlfasern in Wechselwirkung kommen können. Ein derartiges Ergebnis könnte aber auch teilweise dadurch erreicht werden, daß die Kapillar-Hohlfasern einer Ebene genügend dicht aneinander gelegt werden, wodurch jedoch für das erste gasförmige oder flüssige Medium ein größerer Widerstand entsteht, als wenn in jeder Ebene Lücken zwischen den Kapillar-Hohlfasern gelassen werden, die durch eine versetzte Anordnung in einer anderen Ebene geschlossen werden. Ein derartiger Widerstand wäre nachteilig, weil er erstens zu einem Energieverlust und zweitens auch zu einem höheren Druckabfall über die Reaktorlänge führt, der wiederum nachteilig für ein gleichmäßiges Zusammenmischen über die Länge des Reaktors ist. Dieser Nachteil wird eben durch die versetzte Anordnung in verschiedenen Ebenen beseitigt.

Gemäß einer besonderen Weiterbildung der Erfindung ist das Membranelement als mehreckiger oder runder Rahmen und insbesondere als rechteckiger Rahmen ausgebildet, zwischen dessen jeweils gegenüberliegenden Seiten sich die Kapillar-Hohlfasern erstrecken.

Insbesondere bei einer Ausführungsform mit rechteckigem Rahmen ist vorteilhaft, daß sich derartige Membranelemente aufgrund der rechteckigen Form mit wenig Verschnitt herstellen lassen. Ein weiterer Vorteil besteht darin, daß sich senkrecht zu der sich in einer Richtung erstreckenden Kapillar-Hohlfasern einer Ebene auch andere Kapillar-Hohlfasern beispielsweise in einer anderen Ebene erstrecken können. Die Vorteile einer solchen Anordnung wurden vorstehend schon beschrieben. Der Rahmen gemäß der Weiterbildung erlaubt eine sehr einfache Ausbildung derartiger Membranelemente.

Gemäß einer vorzugsweisen Weiterbildung der Erfindung ist das Membranelement als quadratischer Rahmen ausgebildet, wodurch die in dem Rahmen gefaßten Kapillar-Hohlfasern jeweils gleich lang sind.

Die gleiche Länge der Kapillar-Hohlfasern ist zweckmäßig, um ein möglichst gleichmäßiges Fließen der

zweiten Flüssigkeit zu erreichen. Wäre nämlich eine Kapillar-Hohlfaser wesentlich länger als eine andere, dann würde durch die unterschiedlichen Druckabfälle aufgrund der Länge strömungsmäßig ein Ausgleich dadurch erzielt werden, daß das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit im wesentlichen nur durch die kürzeren Kapillar-Hohlfasern fließt und die längeren nicht oder nur wenig mit dem zweiten Gas oder der zweiten Flüssigkeit beaufschlagt werden. Ungleiche Längen würden einer gleichmäßigen Beladung des gasförmigen oder flüssigen Mediums mit dem zweiten Gas oder der zweiten Flüssigkeit entgegenstehen.

Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung münden die Kapillar-Hohlfasern jeweils an den entsprechenden Seiten des Rahmens in separaten Einlässen bzw. Auslässen für das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit.

Dies hat den Vorteil, daß man die zweiten Gase oder Flüssigkeiten in den senkrecht aufeinanderstehenden Strömungsrichtungen separat führen kann, was einen zusätzlichen Parameter für die Prozeßoptimierung schafft. Die Weiterbildung erlaubt nämlich unterschiedliche Druckabfälle in beiden senkrecht aufeinanderstehenden Richtungen, was z. B. zweckmäßig sein kann, um Toleranzen in verschiedenen Längen von Kapillar-Hohlfasern auszugleichen. Wichtiger ist jedoch, daß es auch eine Anwendungsmöglichkeit bietet, dem ersten gasförmigen oder flüssigen Medium zusätzlich zu dem zweiten Gas oder der zweiten Flüssigkeit auch ein drittes Gas oder eine dritte Flüssigkeit mit vom zweiten Gas oder der zweiten Flüssigkeit verschiedenen Überführungsparametern zuzumischen, da aufgrund der Weiterbildung unterschiedliche, voneinander getrennte Strömungswege für das Gas oder die Flüssigkeit, mit dem das erste gasförmige oder flüssige Medium beladen werden soll, zur Verfügung stehen.

Gemäß einer vorzugsweisen Weiterbildung des Reaktors werden mehrere Membranelemente zu einem Membranmodul baulich zusammengefaßt.

Dies hat vor allen Dingen Vorteile für eine einfache Bestückung eines Reaktors, indem mehrere Membranelemente zusammen in den Reaktor eingeführt werden können. Diese Maßnahme verringert nicht nur die Bestückungszeit, wenn der Reaktor für einen neuen, anderen Prozeß mit anderen Membranelementen bestückt werden soll, sondern verringert auch den Zeitaufwand bei der Reinigung bzw. bei anderen Wartungsschritten.

Nach einer weiteren bevorzugten Weiterbildung der Erfindung werden mehrere Membranelemente in einem Membranmodul so miteinander verbunden, daß der Auslaß von Kapillar-Hohlfasern eines Membranelementes jeweils mit dem Einlaß von Kapillar-Hohlfasern eines nachfolgenden Membranelementes zusammengeschaltet sind, so daß das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit in einem Membranelement mit entgegengesetzter Strömungsrichtung zu dem vorhergehenden Membranelement geführt wird. Mit Hilfe dieser Ausgestaltung läßt sich vor allen Dingen das bereits oben beschriebene Verfahren vorteilhaft durchführen.

In vorteilhafter Weiterbildung besteht das Membranmodul im wesentlichen aus einem aus vier zwischen einer rahmenförmigen Bodenplatte und einem rahmenförmigen Deckel angeordneten Eckstützen gebildeten Käfig, in welchem mehrere Membranelemente übereinandergestapelt sind.

Dieser Aufbau ermöglicht einen besonders leichten Ein- bzw. Zusammenbau mehrerer Membranelemente. Ein derartiges Membranmodul ist aber auch leicht aus-

einandernehmbar und mit anderen Membranelementen bestückbar.

Vorteilhaft sind zwischen den einzelnen Membranelementen unterschiedlich dicke Distanzstücke angeordnet.

Die Einführung von Distanzstücken hat den Vorteil, daß der Prozeß durch Variation der Distanzen zwischen den Membranelementen in Abhängigkeit der Größe des zur Verfügung stehenden Reaktors und der gewünschten Prozeßparameter für die Mischung mit standardisierten Modulen optimiert werden kann. Die Einführung der Distanzstücke beeinflußt sowohl den Druckabfall über den Reaktor, als auch die Mischung des zweiten Gases oder der zweiten Flüssigkeit mit dem gasförmigen oder flüssigen Medium. Durch Wahl unterschiedlicher Distanzstücke und Membranelemente stehen weitere Parameter zur Verfügung, eine gewünschte Mischung zu erreichen, was als besonders vorteilhaft anzusehen ist, da der erfundungsgemäße Reaktor zur Beladung eines gasförmigen oder flüssigen Mediums mit einem zweiten Gas oder einer zweiten Flüssigkeit in einem weiten Bereich anwendbar sein soll. Durch verschiedene Distanzstücke und Membranelemente läßt sich das jeweils günstigste Mischungsverhältnis für verschiedene Mischprozesse einstellen.

In vorteilhafter Weiterbildung sind zwischen den Eckstützen mittig zusätzliche Stützen vorgesehen.

Diese Maßnahme erhöht die Stabilität der Membranmodule.

Eine vorzugsweise Weiterbildung der Erfindung sieht vor, daß die Membranelemente wie auch die Distanzstücke in den winkligen Innenseiten der Eckstützen dicht anliegen.

Diese Maßnahme erlaubt es, verschiedene Seiten der Membranelemente gegeneinander abzudichten. Dadurch werden verschiedene Bereiche der Membranelemente druckmäßig voneinander entkoppelt. Aufgrund dieser Maßnahme können verschiedene Strömungswege mit verschiedenen Drucken beaufschlagt werden, was eine weitere Hilfe für die Optimierung der Mischung darstellt.

In weiterer vorteilhafter Ausbildung weisen mindestens zwei sich diametral gegenüberliegende Eckstützen im Unterschied zu den beiden anderen sich diametral gegenüberliegenden Eckstützen nach außen weisende Vorsprünge auf, die zur dichten Befestigung auf die Innenseite des Gehäuses des Reaktors bestimmt sind.

Bei dieser Ausbildung der Erfindung werden verschiedene räumliche Bereiche der Membranelemente durch die dichte Befestigung voneinander entkoppelt. Die Verlängerungen haben Flächen, die an der Reaktorwand zum Anliegen kommen. Durch die flächenhafte Ausbildung der nach außen weisenden Verlängerungen ist eine solche Dichtheit besonders einfach zu erreichen. Die Dichtheit wird vor allen Dingen benötigt, um Einlaß- und Auslaßbereich für das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit voneinander zu trennen, damit eine Druckdifferenz zwischen Einlaßbereich und Auslaßbereich aufrechterhalten werden kann, die das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit durch die Kapillar-Hohlfasern strömen läßt.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist das Gehäuse des Reaktors symmetrisch zur Strömungssachse zylindrisch ausgebildet und die Eckstützen mit ihren Vorsprüngen, mit welchen sie an der Innenwand des Gehäuses befestigt sind, den Reaktorraum in voneinander getrennte Räume unterteilt, durch welche das zweite Gas oder der zweiten Flüssigkeit vor

dem Eindringen in die Kapillar-Hohlfasern bzw. nach dem Verlassen dieser Kapillar-Hohlfasern strömt

Diese Merkmale führen in vorteilhafter Weise zu einer besonders einfachen Ausgestaltung eines erfundungsgemäßen Reaktors. Die vorgenannten quadratischen Membranelemente bzw. die Membranmodule können von einem zylindrischen Gehäuse leicht an allen Ecken umfaßt werden, wobei alle Ecken des quadratischen Rahmens in dem zylindrischen Gehäuse zum Anliegen kommen können. Ist nur ein Einlaßbereich und ein davon getrennter Auslaßbereich vorgesehen, werden nur zwei voneinander getrennte Halbräume benötigt, das bedeutet, eine Dichtung ist nur in einer Diagonalrichtung des quadratischen Rahmens erforderlich. Zur Abdichtung dienen die schon vorerwähnten Vorsprünge. Durch die dichte Befestigung an den beiden Eckstützen wird das Gehäuse in zwei voneinander getrennte Halbräume unterteilt, wobei der eine Halbraum als Einlaß und der andere Halbraum als Auslaß verwendet wird.

In vorzugsweiser Weiterbildung werden mehrere solcher Membranmodule übereinander im Innenraum des Reaktors angeordnet und dicht miteinander verbunden.

Aufgrund der Vielzahl solcher Membranmodule wird die zur Wechselwirkung des zweiten Gases oder der zweiten Flüssigkeit mit dem gasförmigen oder flüssigen Medium zur Verfügung stehende Oberfläche weiter erhöht, so daß ein noch besserer Gasaustausch ermöglicht wird. Im Prinzip könnte man sämtliche Membranelemente in einem einzigen Membranmodul zusammenfassen, dies hätte aber dann Nachteile, wenn der Reaktor nach Durchführung eines ersten Prozesses anschließend für einen anderen Prozeß verwendet werden soll, jedoch nicht mit derselben Anordnung der Membranelemente. Die Bestückung mit mehreren Membranmodulen, die verschieden voneinander sind und übereinander in dem Innenraum des Reaktors angeordnet werden können, bewirkt einen flexiblen Einsatz eines solchen Reaktors für unterschiedliche Prozesse, die in einem Labor oder einer Fertigungsanlage anfallen. Diese Flexibilität wird dadurch erreicht, daß mehrere Membranmodule mit verschiedenen Membranelementen bzw. Distanzstücken versehen werden und nach den Anforderungen die Kombinationen der verschiedenen Membranelemente allein durch Austausch von Membranmodulen geändert werden muß.

Vorteilhaft bildet jedes Membranmodul einen vollständigen Abschnitt des Reaktors, dergestalt, daß jeder Abschnitt ein Teil des Gehäuses des Reaktors umfaßt, der auf seiner Unter- und Oberseite mit je einer Abdeckplatte versehen ist, welche Durchlässe zur Durchführung des zweiten Gases oder der zweiten Flüssigkeit von einem Abschnitt zum anderen aufweisen.

Aufgrund dieser Weiterbildung der Erfindung ist es möglich, die Strömung der zweiten Flüssigkeit oder des zweiten Gases durch das erste gasförmige oder flüssige Medium in verschiedenster Art zu führen. So ist es beispielsweise möglich, Einlässe und Auslässe zusammenzufassen oder aber auch das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit, das aus einem Abschnitt austritt, in einen anderen Abschnitt wieder in Kapillar-Hohlfasern einzuführen, um es erneut mit dem ersten gasförmigen oder flüssigen Medium in Verbindung zu bringen. Diese Beispiele zeigen, daß verschiedenste Strömungsführungen ermöglicht werden können, wodurch weitere Möglichkeiten zur Optimierung des Mischprozesses zur Verfügung gestellt werden.

Gemäß einer vorzugsweisen Weiterbildung der Erfin-

dung ist ein Reaktor aus einer Mehrzahl solcher Abschnitte zusammengesetzt, welche eine Modulkaskade bilden.

Bei der Modulkaskade wird jeweils der Auslaß für das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit von einem Abschnitt mit dem Einlaß für das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit in einem anderen Abschnitt zusammengeschaltet. Damit entsteht nur ein einziger Einlaß für das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit, welches bzw. welche in verschiedenen Abschnitten mehrfach durch das erste gasförmige oder flüssige Medium geleitet wird, bis es an einem Auslaß hervortritt. Mit Hilfe dieser Maßnahme wird der Restanteil des zweiten Gases oder der zweiten Flüssigkeit, der aus einem Abschnitt hervortritt, verringert, weil der von dem gasförmigen oder flüssigen Medium nicht aufgenommene Teil mehrfach in Wechselwirkung mit dem gasförmigen oder flüssigen Medium gebracht wird. Bei dieser Ausführungsform ist der Restanteil des zweiten Gases oder der zweiten Flüssigkeit nach Durchlaufen des Reaktors geringer, als wenn nur ein gemeinsamer Einlaß für alle Membranelemente vorgesehen wäre. Dies ist deshalb vorteilhaft, da nur kleinere Kompressoren oder Pumpen benötigt werden, wenn das nicht aufgenommene zweite Gas oder der zweite Flüssigkeit zum Einlaß zurückgeführt wird. Ein weiterer Vorteil besteht darin, daß der Sicherheitsaufwand zur Entsorgung des zweiten Gases oder der zweiten Flüssigkeit geringer ist, wenn dieses bzw. diese beispielsweise giftig ist.

Von besonderem Vorteil ist jedoch, daß bei der genannten Weiterbildung das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit nicht nur in einer Richtung fließt, sondern innerhalb des ersten Mediums hin- und hergeführt wird. Diese Maßnahme sorgt für ein besseres Durchmischen des zweiten Gases oder der zweiten Flüssigkeit mit dem ersten gasförmigen oder flüssigen Medium. Da beim Durchfließen einer zweiten Flüssigkeit oder eines zweiten Gases durch eine Kapillar-Hohlfaser ein Druckabfall über die Länge derselben entsteht, kann bei einer gleichsinnigen Führung des zweiten Gases oder der zweiten Flüssigkeit durch das gasförmige oder flüssige Medium eine gleichmäßige Mischung nur unvollständig erreicht werden, denn am Einlaß und am Auslaß liegen unterschiedliche physikalische Bedingungen vor. Diese Differenz von Einlaß zu Auslaß, mag sie auch noch so gering sein, wird gemäß der Weiterbildung teilweise dadurch ausgeglichen, daß in einem anderen Abschnitt des Reaktors das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit in entgegengesetzter Richtung geführt wird.

Gemäß einer anderen bevorzugten Weiterbildung der Erfindung werden die Ein- und Auslässe jedes Moduls miteinander verbunden, so daß gleiche Druckgradienten in allen Kapillar-Hohlfasern vorliegen.

Dies ermöglicht einen besonders einfachen Aufbau, man muß jedoch auf die Vorteile des Hin- und Herführens des zweiten Gases oder der Flüssigkeit durch den Reaktor verzichten, wodurch sich ein weniger gleichmäßiges Aufnehmen des zweiten Gases oder der zweiten Flüssigkeit über die Länge der Kapillar-Hohlfaser ergibt. Sind jedoch die Druckgradienten über der Kapillar-Hohlfaser gering, sind keine Nachteile dieser Art zu befürchten und der dadurch bedingte einfache Aufbau des Reaktors macht sich vorteilhaft bemerkbar.

Neben der Verwendung des Reaktors zum Anreichern eines gasförmigen oder flüssigen Mediums mit einem zweiten Gas oder der zweiten Flüssigkeit kann der oben geschilderte Reaktor mit seinen Weiterbildungen auch zum Trennen von Gasen oder Flüssigkeiten

verwendet werden. Dies ist ein besonderer Vorteil gegenüber dem Stand der Technik, da gleiche Modulelemente für unterschiedliche Anwendungen benutzt werden können.

- 5 Zwar ist aus der US-PS 4 959 152 der Aufbau eines Reaktors zum Trennen von Gasen und/oder Flüssigkeiten bekannt, bei dem auch Kapillar-Hohlfasern verwendet werden, jedoch eignet sich dieser nicht zum Anreichern, da das zweite Gas oder der zweiten Flüssigkeit nicht durch die Kapillar-Hohlfasern fließen kann. Beim Anreichern würde das zweite Gas in der Mitte der Kapillar-Hohlfasern ruhen, während es an den Einlaßseiten fließen würde, wodurch unterschiedliche Verhältnisse vom Zentrum zur Peripherie, an der das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit eingeführt wird, verursacht würden, so daß bei einer Überführung des zweiten Gases oder der zweiten Flüssigkeit in ein gasförmiges oder flüssiges Medium eine gleichmäßige Beladung nicht in allen Fällen erreicht werden kann.
- 10 Im Gegensatz dazu werden bei dem erfindungsgemäßen Reaktor die Kapillar-Hohlfasern mit dem zweiten Gas oder der zweiten Flüssigkeit durchströmt, so daß an allen Abschnitten der Kapillar-Hohlfasern stets ein Überangebot an durchströmtem zweitem Gas oder zweiten Flüssigkeit erreichbar ist. Der erfindungsgemäße Reaktor ist also dem aus dem Stand der Technik bekannten Reaktor beim Beladen überlegen und kann darüber hinaus auch noch für das Trennen von Gasen oder Flüssigkeiten eingesetzt werden. Der erfindungsgemäße Reaktor besitzt damit den Vorteil, verschiedene Betriebsarten wie das Beladen und das Trennen mit denselben Membranelementen durchführen zu können. Dies erlaubt eine Standardisierung und wirkt sich kostengünstig für die Prozeßführung aus, da weniger verschiedene Teile auf Lager gehalten werden müssen.
- 15
- 20
- 25
- 30
- 35

Die Vorrichtung sowie das damit durchzuführende Verfahren näher erläuternde Ausführungsbeispiele werden anhand der Zeichnungen geschildert.

- 40 Es zeigen:
- 45 Fig. 1 bis 4 perspektivische Ansichten verschiedener Ausführungsformen von Membranelementen, die bei dem erfindungsgemäßen Verfahren verwendet werden können,

Fig. 5 eine perspektivische Ansicht eines mehreren Membranelementen und Distanzstücke umfassenden Memranmoduls,

Fig. 6 eine Draufsicht auf ein als Abschnitt des Reaktors ausgebildetes Memranmodul,

Fig. 7 einen Schnitt entlang der Linie VII-VII in Fig. 6,

Fig. 8 einen schematischen Schnitt durch einen mehrere kaskadenförmig aufeinandergestapelte Membranmodule enthaltenden Reaktor, bei dem das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit im Gleichstrom mit dem ersten gasförmigen oder flüssigen Medium geführt wird und

Fig. 9 einen Schnitt gemäß Fig. 8, bei dem das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit im Gegenstrom zum ersten gasförmigen oder flüssigen Medium geführt wird.

In der nachfolgenden Beschreibung, wie auch in den Figuren, wird das erste gasförmige oder flüssige Medium immer mit Fluid I und das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit mit Fluid II bezeichnet.

Der für die Durchführung des weiter unten erläuterten Verfahrens zum Beladen eines Fluids I mit einem zweiten Fluid II geeignete Reaktor enthält die für das Verfahren wesentlichen und baulich besonders integrierten Kapillar-Hohlfasern 1 bzw. 1'. Diese werden senkrecht zur Strömungsrichtung des Fluids I angeord-

net, und zwar innerhalb von Membranelementen 2, wie sie in den Fig. 1 bis 4 dargestellt sind. Anstelle der Kapillar-Hohlfasern können auch die bereits oben erwähnten perforierten Schläuche verwendet werden.

Die Membranelemente 2 bestehen im wesentlichen aus einem Rahmen mit einem oberen Rahmenteil 3 und einem unteren Rahmenteil 4, zwischen denen die Kapillar-Hohlfasern 1 bzw. 1' eingespannt sind. Die zwischen den Rahmenteilen 3 bzw. 4 eingespannten offenen Enden der Kapillar-Hohlfasern 1 bzw. 1' sind sowohl gegeneinander als auch gegenüber den Rahmenteilen 3 bzw. 4 abgedichtet. Dies kann beispielsweise in der Form erfolgen, daß die Enden der Kapillar-Hohlfasern 1 bzw. 1' in einer dichtenden Klebemasse, z. B. Kunstharz, eingebettet sind. Die oberen und unteren Rahmenteile 3 bzw. 4 weisen jeweils gleich große Durchströmöffnungen 5 auf, durch welche das Fluid in das Membranelement 2 hinein und durch dieses hindurchströmen kann. Durch diese Ausbildung kann Fluid II getrennt von Fluid I durch die Kapillar-Hohlfasern 1 bzw. 1' und Fluid I getrennt von Fluid II durch das Membranelement 2 hindurchfließen.

Es sind verschiedene Rahmenformen zur Befestigung der Kapillar-Hohlfasern 1 bzw. 1' möglich, die in den Fig. 1 bis 4 gezeigte quadratische Form läßt jedoch eine einfache Fertigung zu und ist besonders günstig für den Einbau in einen Reaktor. Ein besonderer Vorteil ergibt sich aber insofern, als die offenen Enden der senkrecht zueinander angeordneten Kapillar-Hohlfasern 1 bzw. 1' der jeweiligen Ebenen aufgrund der Geometrie auf jeweils einer Seite des Rahmens angeordnet sind. Die Einlaß- und Auslaß-Öffnungen der Kapillar-Hohlfasern 1 und der senkrecht dazu liegenden Kapillar-Hohlfasern 1' können daher getrennt voneinander betrieben werden, was insbesondere für die Strömungsführung innerhalb einer aus mehreren, die Membranelemente 2 umfassenden Membranmodulen gebildeten Modulkaskade vorteilhaft ist, wie später noch eingehend beschrieben wird.

Die quadratische Ausgestaltung des Rahmens hat den Vorteil, daß alle verwendeten Kapillar-Hohlfasern 1 bzw. 1' gleich lang sind. Wäre dies nicht der Fall, würden aufgrund des Druckabfalls des durchströmenden Fluids II unterschiedliche physikalische Bedingungen in unterschiedlichen Richtungen herrschen.

Fig. 1 zeigt eine einfache Ausführungsform des Membranelements 2, bei der die Kapillar-Hohlfasern 1 bzw. 11 der jeweils gleichgerichteten Ebenen genau übereinander liegen. Im Unterschied dazu sind bei dem in Fig. 2 dargestellten Membranelement 2 die in den jeweiligen Ebenen angeordneten Kapillar-Hohlfasern 1 bzw. die Kapillar-Hohlfasern 1' zu denjenigen in den jeweils anderen Ebenen gegeneinander versetzt. Dadurch wird sichergestellt, daß jedes Strömungsflächenelement des Fluids I ähnliche Bedingungen für die Wechselwirkung mit den Kapillar-Hohlfasern 1 und 1' hat, wie ein beliebig anderes benachbartes Flächenelement.

Die Effektivität der Wechselwirkung zwischen Fluid I und Fluid II wird auf diese Weise erhöht. Prinzipiell könnte man auch zur Verbesserung der Wechselwirkung die Kapillar-Hohlfasern 1 bzw. 1' in einer Ebene beliebig dicht legen. Eine solche Anordnung hätte jedoch den Nachteil, daß der Strömung des Fluids I ein großer Widerstand entgegengesetzt wird, wodurch ein Teil der Bewegungsenergie des Fluids I verlorengeht bzw. der Druck desselben vom oberen Rahmenteil 3 des Membranelementes 2 zum unteren Rahmenteil 4 entsprechend stark abfällt, was sowohl für die Erhaltung

gleichmäßiger Bedingungen innerhalb eines vollständig mit Membranelementen 2 bestückten Reaktors unerwünscht ist, als es auch die Membranelemente 2 und die Kapillar-Hohlfasern 1 bzw. 1' nachteilig belastet. Es ist folglich günstiger, die Kapillar-Hohlfasern 1 bzw. 1' jeweils mit Lücken zueinander in einer Ebene anzurichten, wobei diese Lücken durch eine versetzte Anordnung der Kapillar-Hohlfasern 1 bzw. 1' einer anderen Ebene sozusagen geschlossen werden. Durch die Wahl der Lückengröße und des Grads der Versetzung der Ebenen zueinander, kann die Größe der Verwirbelung innerhalb des Membranelements 2, die sich direkt auf die Vermischung des Fluids II mit dem Fluid I auswirkt, eingestellt werden.

Bei sehr hohen Temperaturen können sich die Kapillar-Hohlfasern ausdehnen und werden beweglich. Wenn sie durch die Strömung des Fluid I bewegt werden, nehmen sie nicht nur Energie aus der Strömung auf, sondern werden auch durch die entsprechenden Bewegungen mechanisch belastet, was die Lebensdauer herabgesetzt. Ähnliche Verhältnisse liegen vor, wenn aufgrund anderer Anwendungserfordernisse besonders elastische Materialien für die Kapillar-Hohlfasern verwendet werden müssen.

Um diese energiezehrenden Bewegungen zu vermeiden, wird z. B. im Stand der Technik das Verkleben dem Kapillar-Hohlfasern oder auch das Verweben mit dünnen Fasern aus Nylon, Polyester oder ähnlichem empfohlen. Die Kapillar-Hohlfasern 1 bzw. 1' können aber auch selbst miteinander verweben werden. Ein derartiges Ausführungsbeispiel ist in Fig. 3 zu sehen, bei dem die Kapillar-Hohlfasern 1 mit den Kapillar-Hohlfasern 1' gewebeartig wie Kette und Schuß ineinander greifen, wobei jeweils eine der Kapillar-Hohlfasern 1 als Kette und eine andere senkrecht dazu liegende Kapillar-Hohlfaser 1' als Schuß wirkt.

Das Ausführungsbeispiel nach Fig. 3 ist auch deswegen besonders vorteilhaft, weil keine zusätzlichen Materialien, wie Kleber, Nylon, Polyester oder ähnliches verwendet und vom Fluid I angeströmt werden. Es ist also nicht zu befürchten, daß bei Arbeiten mit aggressiven Stoffen für Fluid I oder Fluid II Teile der zusätzlichen Materialien abgetragen werden, wodurch sich eine Veränderung der Membranelemente 2 wie auch eine Beeinflussung des weiteren Prozesses, bei dem das Fluid I benötigt wird, durch Verunreinigungen desselben zur Folge hätte.

Fig. 4 zeigt schließlich noch ein viertes Ausführungsbeispiel für ein Membranelement 2, in welchem nur Ebenen gleichgerichteter Kapillar-Hohlfasern 1 angeordnet sind, also auf Ebenen mit senkrecht dazu liegenden Kapillar-Hohlfasern 1' verzichtet wurde. Eine solche Ausführungsform ist dann anzuwenden, wenn wegen besonderer baulicher Gestaltung des Reaktors nur jeweils eine Einlaß- bzw. Auslaßseite 6 bzw. 7, verwendet werden können.

Bei einer derartigen Ausführungsform ist aber ganz besonders darauf zu achten, daß der vom Fluid I beaufschlagte Querschnitt möglichst gleichmäßig mit Kapillar-Hohlfasern 1 bedeckt ist, da sonst nur geringe Verwirbelungen in axialer Richtung der Kapillar-Hohlfasern 1 erzeugt werden. Aus diesem Grund sind hier auch, wie schon in Verbindung mit Fig. 2 beschrieben, die Kapillar-Hohlfasern 1 einer Ebene gegenüber den Kapillar-Hohlfasern 1 einer anderen Ebene versetzt.

Bei allen in Fig. 1 bis Fig. 4 beschriebenen Ausführungsformen ist zu erkennen, daß für jede Strömungsrichtung mehrere Ebenen von Kapillar-Hohlfasern 1

bzw. 1' vorhanden sind. Untersuchungen haben gezeigt, daß die beschriebenen Membranmodule 2 am wirkungsvollsten mit 1 bis 5 Ebenen von Kapillar-Hohlfasern 1 bzw. 1' je Strömungsrichtung betrieben werden.

Sämtliche vorbeschriebenen Ausführungsformen der Membranmodule 2 lassen sich für das erfindungsgemäße Verfahren verwenden. Bei diesem wird das Fluid II, mit dem das Fluid I beladen wird, in die Kapillar-Hohlfasern 1 bzw. 1' geführt, die Faserwände mit einer mikroporösen Struktur besitzen, durch die das Fluid II in das Fluid 1 eindringen kann. Die Überführung des Fluids II aus den Kapillar-Hohlfasern 1 bzw. 1' in das Fluid I geschieht aufgrund von Gradienten und physikalischen oder chemischen Parametern, von denen insbesondere Druck-, Temperatur- oder Konzentrationsdifferenzen zu nennen sind. Im Falle von Druckgradienten reicht bereits eine kleine Druckdifferenz zwischen Fluid II und Fluid I, nämlich ein Druckunterschied, der das Fluid II durch die Poren der mikroporösen Faserwand der Kapillar-Hohlfasern 1 bzw. 1' an dessen Außenwand bringt wo es eine Phasengrenze zum Fluid I bzw. Bläschen bildet. Aufgrund der Strömung des Fluids I werden die Bläschen entweder abgeschnitten oder aufgrund des dynamischen Druckes der Strömung direkt in das Fluid I gesaugt. Die durch das Auftreffen von Fluid I auf eine Kapillar-Hohlfaser 1 bzw. 1' entstehenden Verwirbelungen oder Turbulenzen sorgen dafür, daß sich Fluid I mit Fluid II über einen größeren Raumbereich gut vermischt. Die Zuführung des Fluids II in das Fluid I über Kapillar-Hohlfasern 1 bzw. 1' statt durch Begaskörper nach dem Stand der Technik ist vor allem deswegen vorteilhaft, weil das Oberflächen/Volumenverhältnis bei Kapillar-Hohlfasern wesentlich günstiger liegt als es durch Begaskörper erreicht werden könnte. Dies gilt vor allem dann, wenn Fluid II ein Gas ist, denn Gasblasen können aufgrund der Oberflächenspannung nicht beliebig klein gehalten werden.

Bei den Beispielen nach Fig. 1 bis Fig. 3 sind die Kapillar-Hohlfasern 1 senkrecht zu den Kapillar-Hohlfasern 1' in verschiedenen Ebenen vorgesehen. Dadurch werden alle Richtungskomponenten der Turbulenzen des Fluids I beim Auftreffen auf die Kapillar-Hohlfasern 1 bzw. 1' für die Umspülung der Oberflächen der Kapillar-Hohlfasern 1 bzw. 1' ausgenutzt, wodurch die Effektivität der Vermischung des Fluid II mit dem Fluid I erhöht wird.

Werden größere Austauschflächen zwischen Fluid II und Fluid I als die oben genannten 5 mal 2 Lagen von Kapillar-Hohlfasern benötigt, können die einzelnen Membranelemente 2 zu Membranmodulen 8 zusammengefaßt werden. Ein derartiges Membranmodul 8 ist in Fig. 5 abgebildet.

In dem Membranmodul 8 fließt das Fluid I durch mehrere hintereinander angeordnete Membranelemente 2, die durch Distanzstücke 9 bzw. 10 in einem Abstand voneinander gehalten werden. Der gesamte Aufbau wird von einem Käfig 11 zusammengehalten, der im wesentlichen eine rahmenförmige Bodenplatte 12, einen ebenfalls rahmenförmigen Deckel 16 und zwischen beiden angeordnete Eckstützen 13 bzw. 14 umfaßt. Zur Erhöhung der Stabilität des Käfigs 11 können zwischen den Eckstützen 13 bzw. 14 noch weitere Stützen 15 vorgesehen sein, wie es in dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 5 dargestellt ist.

Die Eckstützen 13 sind im Unterschied zu den Eckstützen 14 mit Vorsprüngen 17 ausgestaltet, ebenso weisen die rahmenförmige Bodenplatte 12 und der rahmenförmige Deckel in ihren den Eckstützen 13 jeweils zuge-

ordneten Bereichen solche Vorsprünge 18 auf, die mit ihren Außenflächen 19 an der Innenwand eines Reaktorgehäuses befestigt werden können. Dabei liegen die Außenflächen 19 an der Innenwand dichtend an, wie später noch beschrieben wird. Auch zwischen den Ecken der Membranelemente 2 sowie der Distanzstücke 9 bzw. 10 und den Innenseiten der Eckstützen 13 und 14 sind Dichtungen vorgesehen.

Nach Entfernen des Deckels 16 vom Käfig 11 können zum Bestücken des Käfigs 11 abwechselnd Distanzstücke 9 bzw. 10 und Membranelemente 2 eingelegt werden. Durch die Wahl von Distanzstücken unterschiedlicher Abmessungen wie auch der Reihenfolge solcher Distanzstücke 9 bzw. 10 einerseits und Membranelemente 2 unterschiedlicher Eigenschaften andererseits, kann ein Membranmodul 8 für unterschiedliche Anwendungen optimiert werden.

Das Zusammenführen von Flüssigkeiten oder Gasen mittels eines solchen Membranmoduls 8 erfolgt in gleicher Weise, wie es schon in Zusammenhang mit den Membranelementen 2 nach den Fig. 1 bis 4 beschrieben wurde. Die Strömungsrichtungen für Fluid I und Fluid II sind auch in Fig. 5 mit Pfeilen angegeben. Das Fluid II wird bei diesem Ausführungsbeispiel von zwei Seiten des Käfigs 11 in die Kapillar-Hohlfasern hinein und auf der gegenüberliegenden Seite herausgeführt, während das Fluid I durch den rahmenförmigen Deckel 16 zwischen den Kapillar-Hohlfasern hindurch zur Bodenplatte 12 fließt.

Fig. 6 zeigt die Draufsicht auf ein in einem Gehäuse 20 eingesetztes Membranmodul 8. Das Gehäuse 20 umschließt das Membranmodul 8, wobei die Außenflächen 19 der Vorsprünge 17 an den Eckstützen 13, dem Deckel 16 und der Bodenplatte 12 dicht an der Innenwand des Gehäuses 20 anliegen. Die dadurch gebildeten beiden Räume 21 bzw. 22 dienen zur Strömungsführung des Fluids II, mit dem das Fluid I beaufschlagt werden soll. Fluid II wird durch in einem Gehäusedeckel 23 vorgesehene Einlässe 24 bzw. 25 in den Raum 21 eingeführt und unter Druck gehalten. Dadurch tritt es in die Kapillar-Hohlfasern der im Membranmodul 8 angeordneten Membranelemente 2 ein und auf der gegenüberliegenden Seite in den Raum 22 aus, aus welchem es durch im Gehäuseboden 26 vorgesehene Auslässe 27 bzw. 28 strömt und von dort in einen Kreislauf zurückgeführt, entsorgt oder aber in ein darunter angeordnetes weiteres Gehäuse mit einem anderen Membranmodul geführt werden kann, wie später noch beschrieben wird.

Zur besseren Veranschaulichung der vorbeschriebenen Strömungsführung des Fluids II durch das Gehäuse 20 wird auf Fig. 7 verwiesen, welche einen Schnitt entlang der Linie VII-VII in Fig. 6 zeigt.

In dem anhand der Fig. 5 bis 7 beschriebenen Beispiel sind die Strömungswege von Fluid II durch die Kapillar-Hohlfasern 1 und den senkrecht dazu liegenden Kapillar-Hohlfasern 1' gleichgerichtet, d. h., von Raum 21 zu Raum 22, denn nur die Eckstützen 13 des Membranmoduls 8 sind gegenüber der Innenwand des Gehäuses 20 abgedichtet. Würde man jedoch alle vier Ecken des Membranmoduls 8 gegenüber dem Gehäuse 20 abdichten, ergeben sich vier Räume im Gehäuse 20 und zwei voneinander getrennte Strömungswege, die für das Fluid II benutzt werden könnten.

Die Anordnung von zwei Strömungswegen eröffnet die Möglichkeit, dem Fluid I ein weiteres Gas oder Fluid zuzuführen, das beispielsweise einen von Fluid II verschiedenen Druck aufweist, um optimal in das Fluid I eingeführt zu werden.

Die Membranmodule 8 können auch mit einer anderen als vorstehend beschriebenen Strömungsführung beaufschlagt werden. Beispielsweise kann die Strömung so geführt werden, daß das aus einem ersten Membranelement 2 austretende Fluid II in das nachfolgende zweite Membranelement 2 und sofort eingeführt wird, so daß die Strömungsführung für das Fluid II im Fluid I mäanderförmig erfolgt. Mit einer solchen Führung können Einflüsse physikalischer Effekte, wie sie in dem vorbeschriebenen Beispiel aufgrund des zwischen Einlaß und Auslaß bestehenden unterschiedlichen Druckes auftreten können, verringert werden.

Fig. 8 und 9 zeigen in schematischer Darstellung die Anordnung mehrerer Membranmodule 8 innerhalb eines Gehäuses 30. Dieses Gehäuse 30 kann z. B. einstückig ausgebildet sein, in welchem dann die einzelnen Membranmodule 8 übereinander gestapelt angeordnet sind, es kann aber auch aus mehreren, jeweils ein Membranelement 8 enthaltenden und wie in den Fig. 6 und 7 beschriebenen Gehäusen 20 zusammengesetzt sein.

Werden nur die Membranmodule 8 verwendet, müssen zwischen diesen Trennplatten 28 vorgeschen sein, welche ähnlich den Abdeck- und Bodenplatten 23 bzw. 26 der Gehäuse 20 ausgebildet sind und Durchlässe 29 aufweisen, durch welche das Fluid II von Membranelement 8 zu Membranelement 8 geführt werden kann. Dieser Strömungsweg ist in den Fig. 8 und 9 mittels der horizontal gerichteten Pfeile für Fluid II angedeutet.

Dieser Strömungsweg des Fluids II ist auch in Fig. 9 derselbe, jedoch wird dort Fluid I entgegengesetzt zum Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 8 durch den Reaktor hindurchgeführt. Der Reaktor nach Fig. 8 arbeitet im "Gleichstrom", derjenige nach Fig. 9 im "Gegenstrom".

Aufgrund der Verbindungen der einzelnen in einer Modulkaskade zusammengestellten Membranelemente 8 über die Durchlässe 29 in den Trennplatten 28 wird das Fluid II in der Modulkaskade hin- und hergeführt, wobei das aus einem Membranelement 8 austretende Fluid II in das nachfolgende Membranelement 8 eingelassen wird. Der nicht vom Fluid I aufgenommene Anteil innerhalb des Fluids II kann also erneut mit dem Fluid wechselwirken, so daß der Restanteil des Fluids II wesentlich geringer ist, als dies bei einer gleichsinnigen Durchströmung aller Membranelemente 8 der Fall wäre.

Ein geringerer Restanteil an Fluid II ist insofern von Vorteil, als dessen Weiterbehandlung wesentlich vereinfacht wird. Wird nämlich der Restanteil wieder zum Einlaß des Reaktors zurück gepumpt, wobei sein Druck erhöht wird, so sind wesentlich geringere Kompressorleistungen erforderlich. Ist das Fluid II toxisch, so wird aufgrund des kleineren Restanteils der Aufwand für Sicherheitsmaßnahmen und Entsorgung geringer.

Der Betrieb eines Reaktors im Gleichstrom ist dann vorteilhaft, wenn für die Überführung des Fluids II in das Fluid I Druckdifferenzen wesentlich sind. Aufgrund der Wechselwirkung des Fluids I mit den Kapillar-Hohlfasern 1 bzw. 1' in den Membranelementen 8 ist ein Druckabfall von der Einlaßseite zur Auslaßseite zu erwarten. Die Kapillar-Hohlfasern setzen dem Fluid II ebenfalls einen Widerstand entgegen, so daß auch hier ein Druckabfall von deren jeweiligen Einlässen zu deren Auslässen entsteht. Bei gleichgerichteter Strömung von Fluid II und Fluid I vom Einlaß zum Auslaß werden also die Druckdifferenzen zwischen beiden Fluiden wesentlich weniger beeinflußt, als die Drücke selbst, d. h., die erwünschte Gleichmäßigkeit beim Beladen des Fluids I mit dem Fluid II aufgrund von Druckdifferenzen ist durch einen solchen Betrieb im wesentlichen sicherge-

15
stellt.

Anders liegt der Fall, wenn die Aufnahme des Fluids II im Fluid I aufgrund von Konzentrationsdifferenzen im Gleichstrom erfolgen soll. Der Volumenanteil von Fluid II in den Kapillar-Hohlfasern 1 bzw. 1' ist nämlich in der Nähe des Einlasses groß und die Konzentration des Fluids II im Fluid I niedrig. In der Nähe des Auslasses ist der Volumenanteil des Fluids II in den Kapillar-Hohlfasern dagegen geringer geworden und das Fluid I hat eine größere Konzentration im Fluid II angenommen. Dies bedeutet, daß keine gleichmäßige Aufnahme des Fluids II im Fluid I stattfindet, da die Konzentrationsdifferenzen über die Reaktorlänge variieren. Es bietet sich hier also an, den Reaktor im Gegenstrom zu fahren.

In dem in Fig. 9 dargestellten Reaktor sind deshalb Einlaß und Auslaß für das Fluid I gegenüber dem in Fig. 8 gezeigten Ausführungsbeispiel vertauscht. Analog zu den obigen Druckdifferenz-Betrachtungen ist einsichtig, daß hier die Konzentrationsdifferenzen zwischen Fluid I und Fluid II über die Reaktorlänge weniger variieren.

Abgesehen von diesen mehr theoretischen Betrachtungen zeigen Laborversuche, daß die Anwendung des Gegenstromverfahrens im Begasungsbereich, aber auch bei Stoffaustausch- und Separationsprozessen sowie bei der Mikrofiltration beachtliche Vorteile bringt. Die vom Fluid I aufgenommenen Mengen an Fluid II war für alle Versuche im Gegenstromverfahren günstiger als bei einem Betrieb im Gleichstrom.

Der Stand der Technik zeigt zwar bereits Membranelemente mit Kapillar-Hohlfasern, die senkrecht zur Richtung eines Fluids angeordnet sind, jedoch haben diese keine definierte Ausgangs- und Eingangsseite. Sie sind also für das Beladen eines ersten gasförmigen oder flüssigen Mediums (Fluid I) mit einem zweiten Gas oder einer zweiten Flüssigkeit (Fluid II) ungeeignet, werden aber in der Technik dazu verwendet, Gase und Flüssigkeiten voneinander zu trennen.

Eine Gastrennung ist dagegen auch mit Hilfe des Reaktors nach der Erfindung möglich, dieser ist also vielseitiger verwendbar als die bekannten Reaktoren, denn es müssen keine unterschiedlich ausgebildeten, entweder für die Beladung eines ersten gasförmigen oder flüssigen Mediums mit einem zweiten Gas oder Fluid oder für die Trennung zweier Flüssigkeiten oder Gase geeigneten Membranelemente verwendet werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren in Verbindung mit der Vorrichtung ermöglicht ein effektives Beladen eines gasförmigen oder fluiden Mediums mit einem zweiten Gas oder einer zweiten Flüssigkeit in einem Reaktor. Die hohe Effizienz ist dabei im wesentlichen auf das große Oberflächen/Volumenverhältnis für das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit zurückzuführen. Die durch die Mikroporen von vornherein gegebene geringe Blasengröße wird zudem dadurch weiter klein gehalten, daß die Blasen aufgrund der Überströmung mit dem ersten gasförmigen oder fluiden Medium von der Oberfläche abgesichert werden. Eine ausreichende Turbulenz ergibt sich durch die besondere Anordnung der Kapillar-Hohlfasern in den einzelnen Membranelementen und -modulen.

65
Patentansprüche

1. Verfahren zum Anreichern eines ersten gasförmigen oder flüssigen Mediums mit einem zweiten Gas oder einer Flüssigkeit in einem Reaktor, wobei

das erste gasförmige oder flüssige Medium längs einer Strömungssachse des Reaktors strömt oder fließt oder im Chargenbetrieb vorgelegt ist, dadurch gekennzeichnet, daß das zweite Gas oder Fluid durch im wesentlichen senkrecht zur Strömungssachse angeordnete und Wände mit einer mikroporösen Struktur aufweisenden Kapillar-Hohlfasern (1, 1') durch das erste gasförmige oder flüssige Medium geführt wird, wobei das zweite Gas oder die Flüssigkeit aufgrund von Gradienten in physikalischen oder chemischen Parametern, insbesondere Druck-, Temperatur- und/oder Konzentrationsdifferenzen, wegen der mikroporösen Struktur der Faserwände in das erste gasförmige oder fluide Medium eintreten kann.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit in verschiedenen Richtungen und Ebenen zur und entlang der Strömungssachse des Reaktors durch das erste gasförmige oder flüssige Medium geleitet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit im Gleichstrom zum ersten gasförmigen oder flüssigen Medium durch den Reaktor geführt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit, im Gegenstrom zum ersten gasförmigen oder flüssigen Medium durch den Reaktor geführt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit in den Kapillar-Hohlfasern mit verschwindender Strömungsgeschwindigkeit ansteht.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Druck des zweiten Gases oder der zweiten Flüssigkeit unterhalb des Blasenentstehungsdrucks gehalten wird.

7. Reaktor zur Durchführung des Verfahrens nach den Ansprüchen 1 bis 6 mit einem Ein- und Ausläß für das erste gasförmige oder flüssige Medium und das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit aufweisenden Gehäuse (20, 30), dadurch gekennzeichnet, daß die Kapillar-Hohlfasern (1, 1') in Membranelementen (2) zusammengefaßt sind.

8. Reaktor nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Membranelement (2) mindestens eine von Kapillar-Hohlfasern (1, 1') gebildete Ebene aufweist, wobei die Kapillar-Hohlfasern (1, 1') annähernd parallel zueinander verlaufen und das Membranelement (2) senkrecht zu dieser Ebene durchströmbar ist.

9. Reaktor nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Membranelement (2) mehrere aus Kapillar-Hohlfasern (1, 1') gebildete und nacheinander angeordnete Ebenen aufweist.

10. Reaktor nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die jeweiligen Ebenen in dem Membranelement (2) zueinander gedreht angeordnet sind.

11. Reaktor nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Ebenen in dem Membranelement (2) jeweils zueinander um 90° gedreht angeordnet sind.

12. Reaktor nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß in dem Membranelement (2) die Kapillar-Hohlfasern (1) der einen Ebene mit den dazu

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

senkrecht angeordneten Kapillar-Hohlfasern (1') der benachbarten Ebene nach Art von Kette und Schuß verwoben sind.

13. Reaktor nach einem der Ansprüche 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Kapillar-Hohlfasern (1, 1') einer Ebene gegenüber den in gleicher Richtung verlaufenden Kapillar-Hohlfasern (1, 1') einer anderen Ebene gegeneinander versetzt sind.

14. Reaktor nach einem der Ansprüche 7 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß das Membranelement (2) als runder oder mehreckiger Rahmen und insbesondere als rechteckiger Rahmen (3, 4) ausgebildet ist, zwischen dessen jeweils gegenüberliegenden Seiten sich die Kapillar-Hohlfasern (1, 1') erstrecken.

15. Reaktor nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß das Membranelement (2) als quadratischer Rahmen (3, 4) ausgebildet und dadurch die in dem Rahmen (3, 4) gefaßten Kapillar-Hohlfasern (1, 1') jeweils gleich lang sind.

16. Reaktor nach Anspruch 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Kapillar-Hohlfasern (1, 1') jeweils an den entsprechenden Seiten des Rahmens (3, 4) in separaten Einlässen bzw. Auslässen für das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit münden.

17. Reaktor nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Membranelemente (2) zu einem Membranmodul (8) baulich zusammengefaßt sind.

18. Reaktor nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß die mehreren Membranelemente (2) in einem Membranmodul (8) so miteinander verbunden sind, daß der Auslaß von Kapillar-Hohlfasern eines Membranelements (2) jeweils mit dem Einlaß von Kapillar-Hohlfasern eines nachfolgenden Membranelements (2) zusammengeschaltet sind, so daß das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit in einem Membranelement (2) mit entgegengesetzter Strömungsrichtung zu dem vorhergehenden Membranelement (2) geführt wird.

19. Reaktor nach Anspruch 17 oder 18, dadurch gekennzeichnet, daß das Membranmodul (8) im wesentlichen aus einem aus vier zwischen einer rahmenförmigen Bodenplatte (12) und einem rahmenförmigen Deckel (16) angeordneten Eckstützen (13 bzw. 14) gebildeten Käfig (19) besteht, in welchem mehrere Membranelemente (2) übereinander gestapelt sind.

20. Reaktor nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen den einzelnen Membranelementen (2) unterschiedlich dicke Distanzstücke (9 bzw. 10) angeordnet sind.

21. Reaktor nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen den Eckstützen (13 bzw. 14) mittig zusätzliche Stützen (15) vorgesehen sind.

22. Reaktor nach Anspruch 17 oder 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Membranelemente (2) wie auch die Distanzstücke (9 bzw. 10) in den winkligen Innenseiten der Eckstützen (13) dicht anliegen.

23. Reaktor nach Anspruch 17 oder 18, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens zwei sich diametral gegenüberliegende Eckstützen (13) im Unterschied zu den beiden anderen sich diametral gegenüberliegenden Eckstützen (14) nach außen weisende Vorsprünge (17) aufweisen, die zur dichten Befestigung auf der Innenseite des Gehäuses (20, 30) des Reaktors bestimmt sind.

24. Reaktor nach Anspruch 23, dadurch gekenn-

zeichnet, daß das Gehäuse (20, 30) des Reaktors symmetrisch zur Strömungssachse zylindrisch ausgebildet ist und die Eckstützen (13) mit ihren Vorsprünge (17), mit welchen sie an der Innenwand des Gehäuses (20, 30) befestigt sind, den Reaktorinnenraum in voneinander getrennte Räume unterteilt, durch welche das zweite Gas oder Fluid vor dem Eindringen in die Kapillar-Hohlfasern (1, 1') bzw. nach dem Verlassen dieser Kapillar-Hohlfasern (1, 1') strömt.

5

25. Reaktor nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere solcher Membranmodule (8) übereinander in dem Innenraum des Reaktors angeordnet und dicht miteinander verbunden sind.

10

26. Reaktor nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß jedes Membranmodul (8) einen vollständigen Abschnitt des Reaktors bildet, der gestaltet, daß jeder Abschnitt einen Teil des Gehäuses des Reaktors umfaßt, der auf seiner Unter- und Oberseite mit je einer Abdeckplatte (28) versehen ist, welche Durchlässe (29) zur Durchführung des zweiten Gases oder Fluids von einem Abschnitt zum anderen aufweisen.

15

27. Reaktor nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, daß er aus einer Mehrzahl solcher Abschnitte zusammengesetzt ist, welche eine Modulkaskade bilden.

20

28. Reaktor nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, daß die Ein- und Auslässe jedes Modulelementes (2) miteinander verbunden sind, so daß gleiche Druckgradienten in allen Kapillar-Hohlfasern vorliegen.

25

29. Anwendung eines Reaktors nach Anspruch 7—28 zum Trennen von Gasen und/oder Flüssigkeiten.

30

35

Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen

40

45

50

55

60

65

THIS PAGE BLANK (USPTO)

- Leerseite -

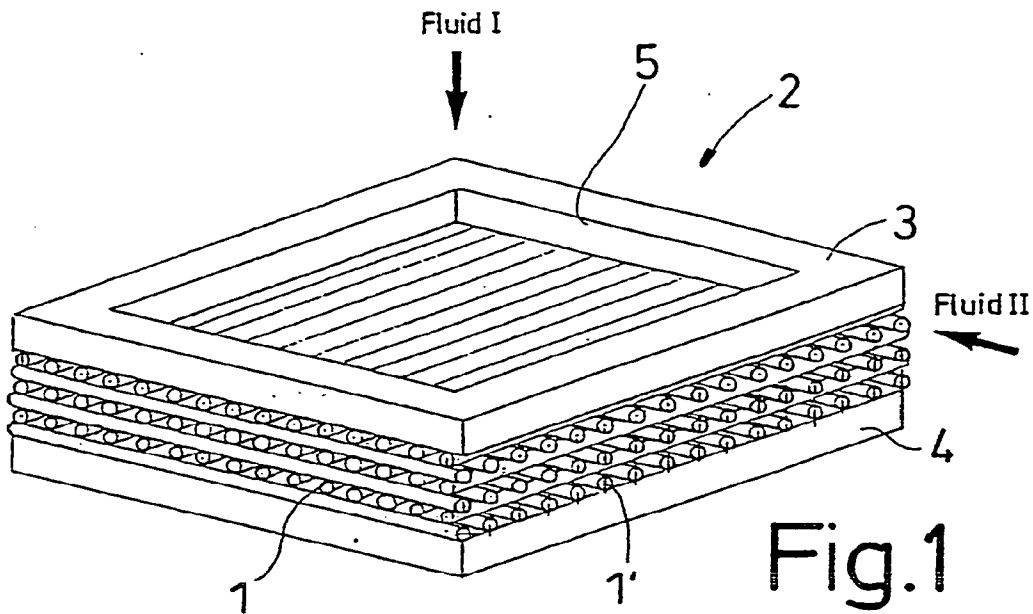


Fig.1

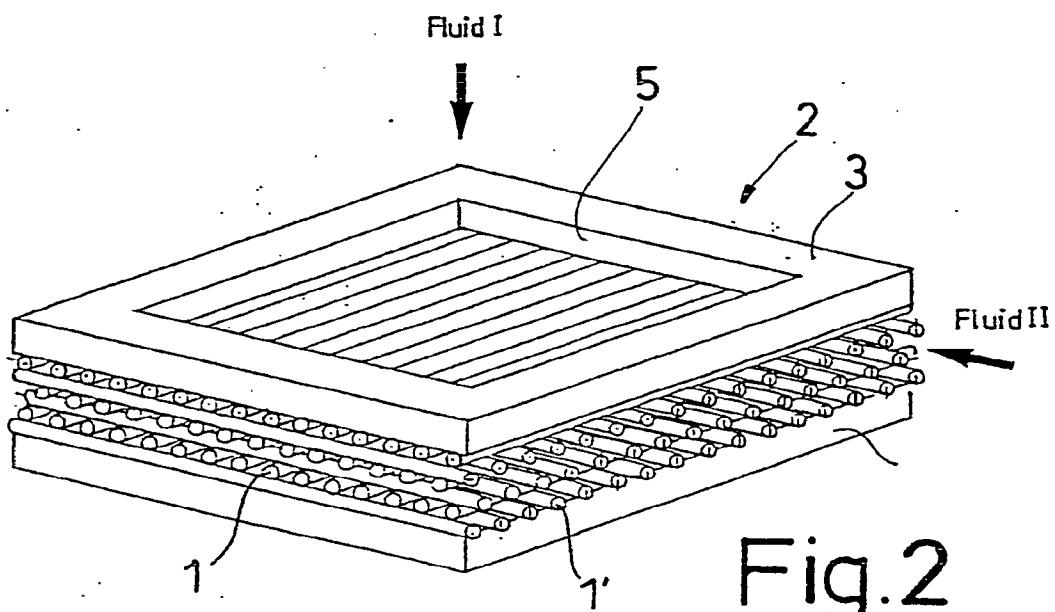


Fig.2

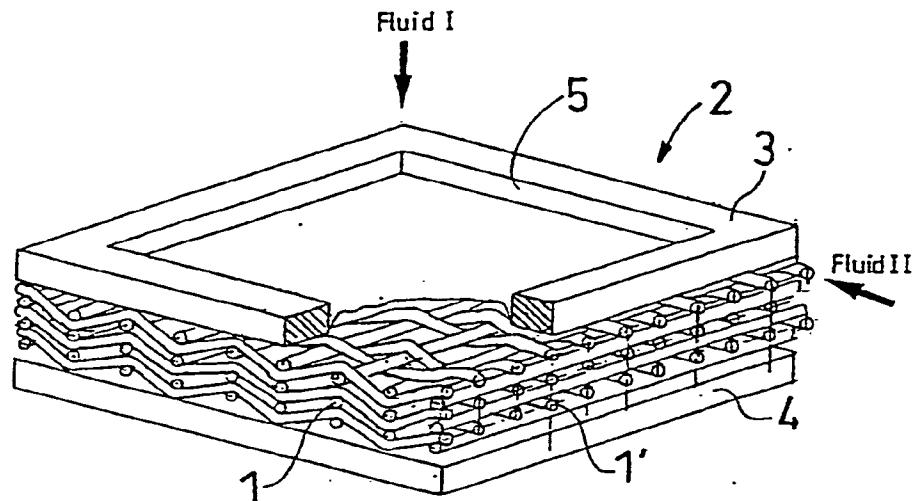


Fig.3

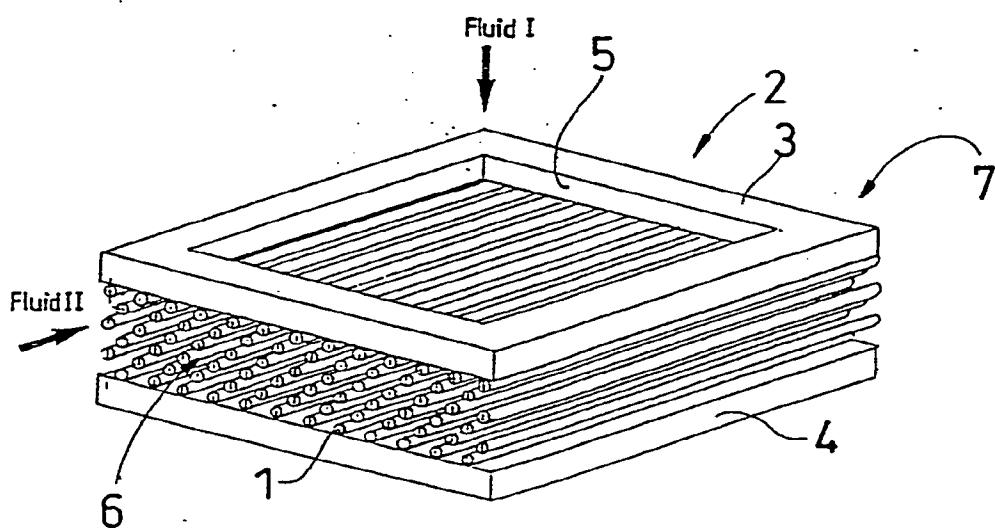


Fig.4

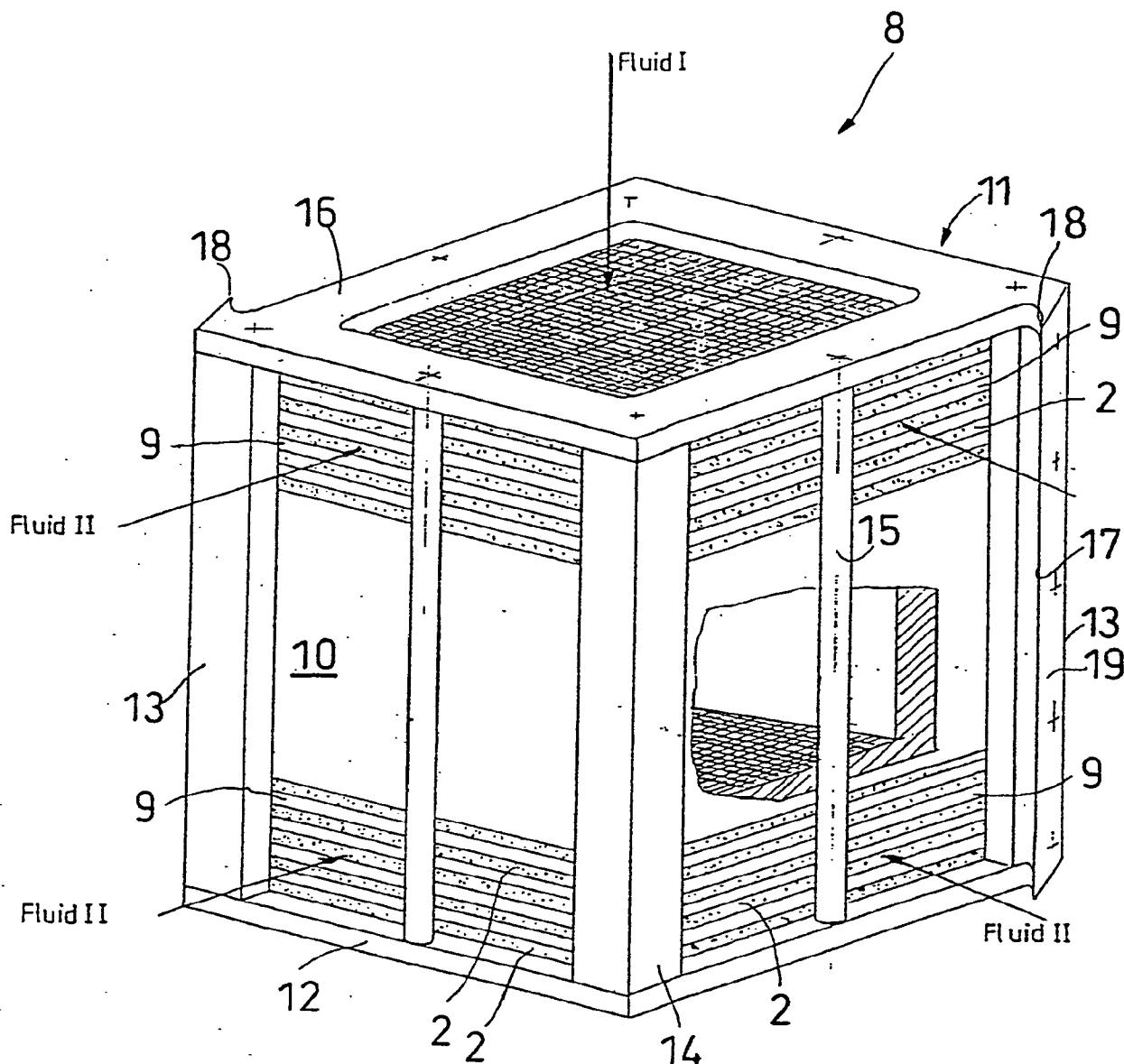


Fig.5

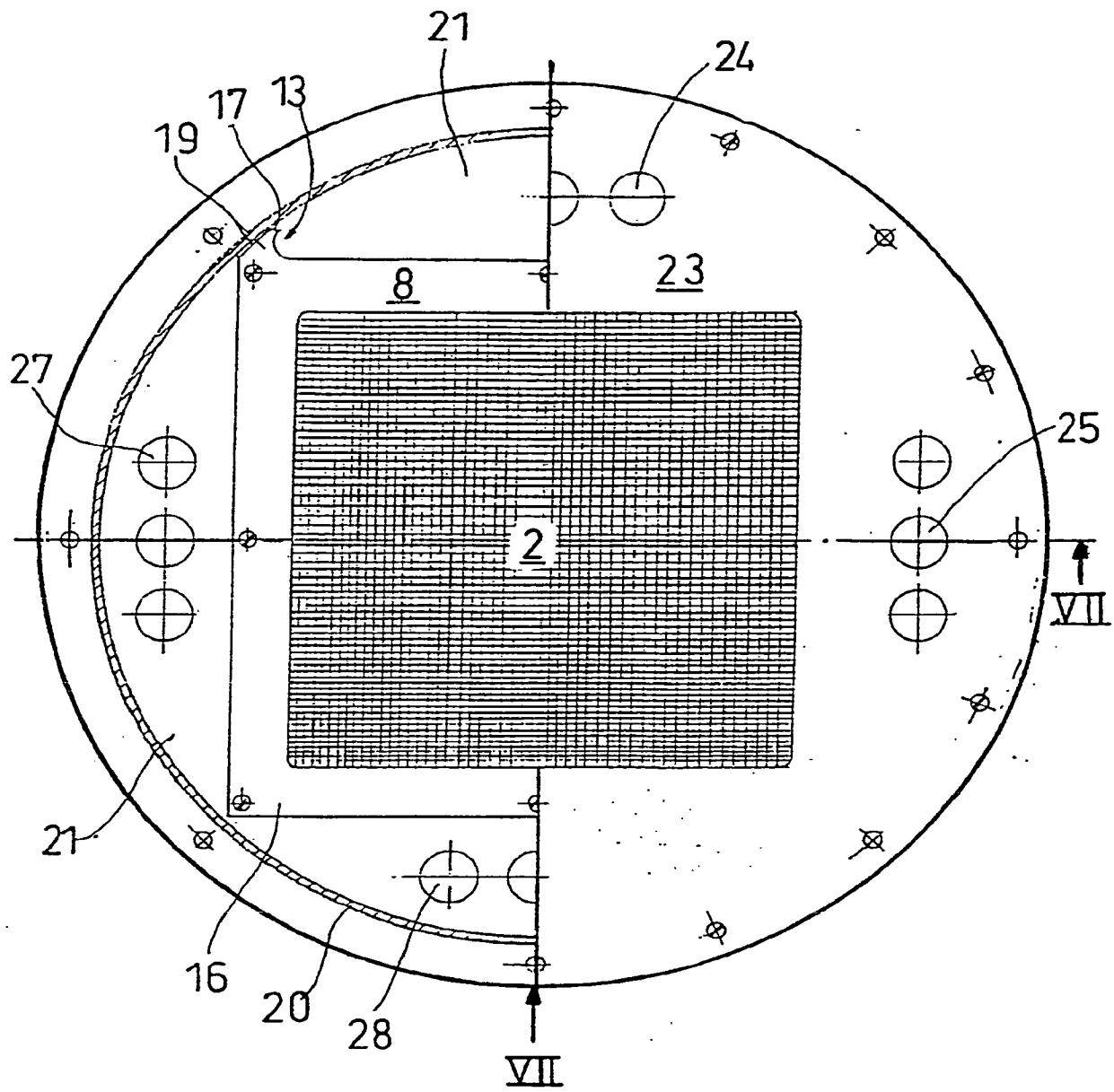


Fig. 6

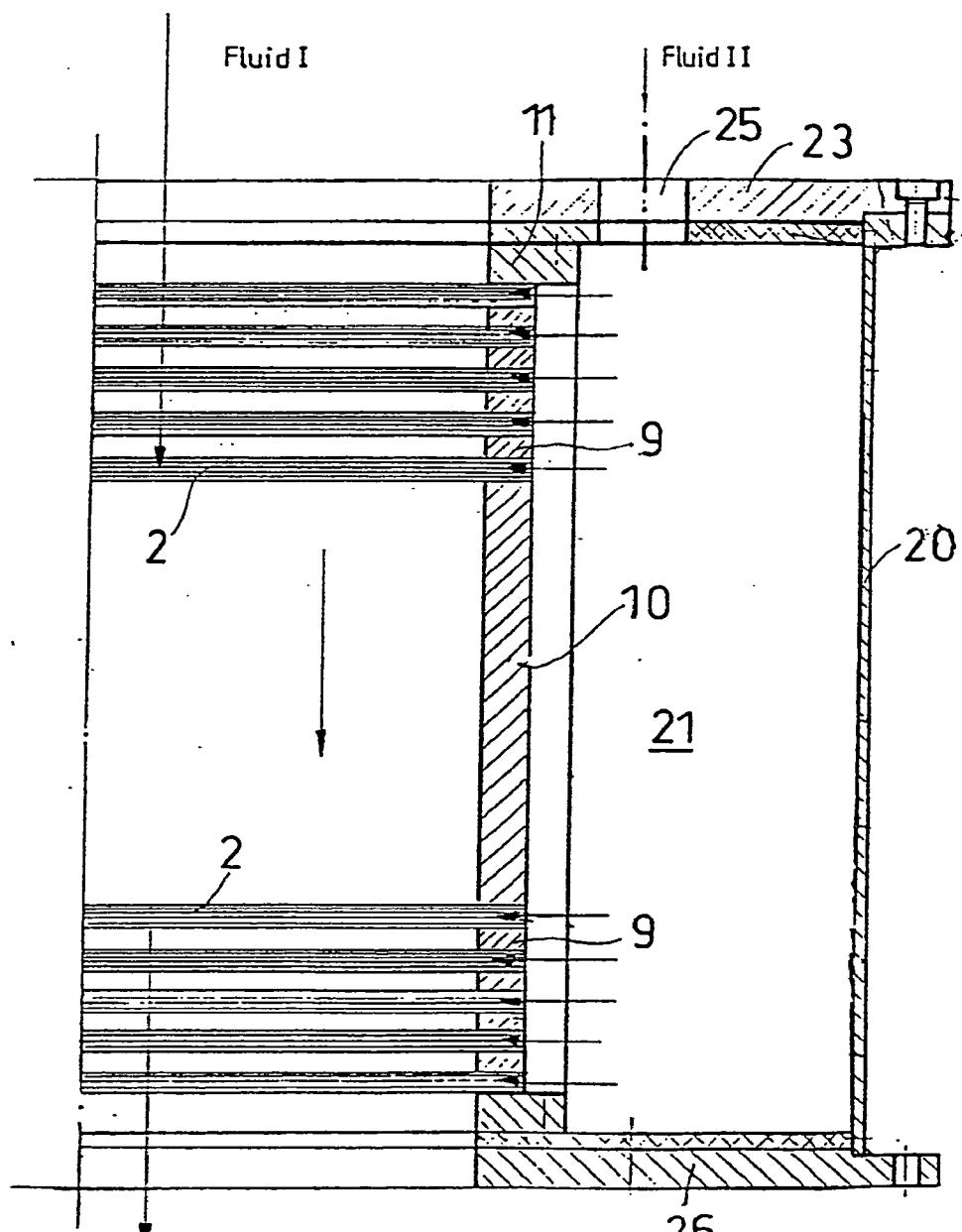


Fig. 7

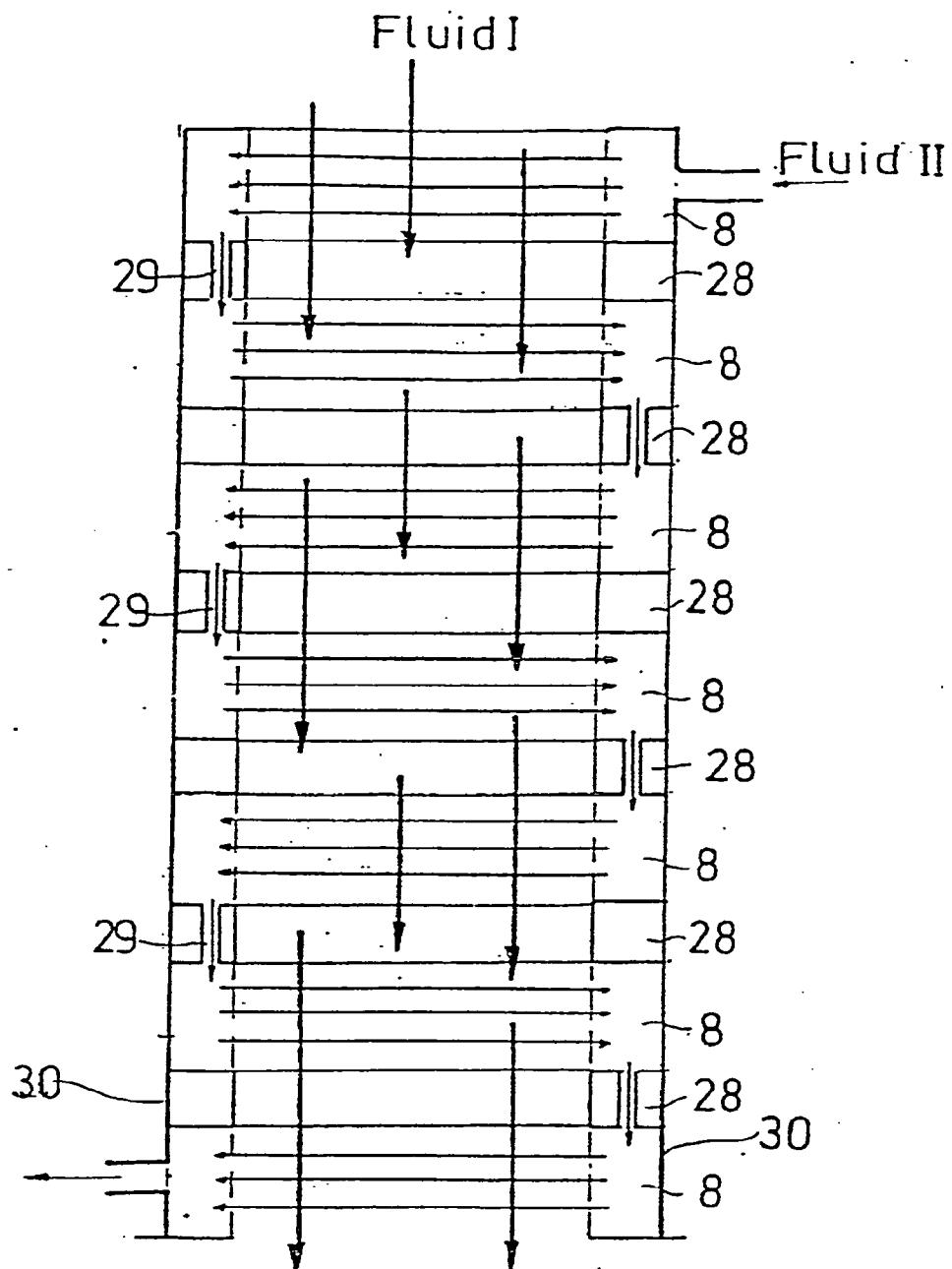


Fig. 8

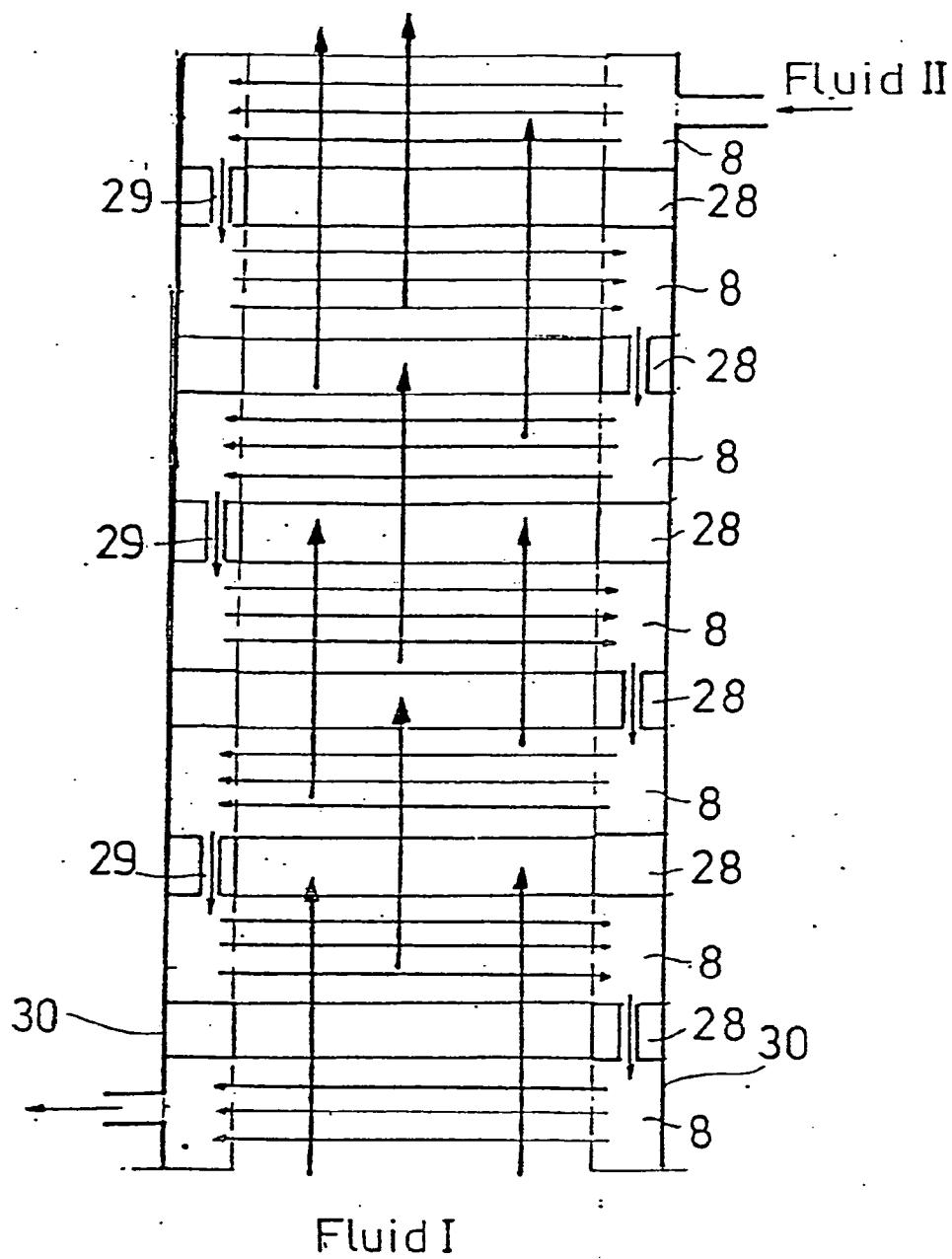


Fig. 9